Eletrônica Básica I

Federação das Indústrias do Estado de Pernambuco
Jorge Wicks Côrte Real

Departamento Regional do SENAI de Pernambuco
Diretor Regional
Antônio Carlos Maranhão de Aguiar

Diretor Técnico
Uaci Edvaldo Matias

Diretor Administrativo e Financeiro
Heinz Dieter Loges

Ficha Catalográfica

621 SENAI.DR.PE. **Eletrônica Básica I .**
S474e Recife, SENAI.PE/DITEC/DET, 2005
1. ENGENHARIA ELÉTRICA
2. ELETRÔNICA
3. Série Eletrônica - SENAI
I. Título

Direitos autorais de propriedade exclusiva do SENAI. Proibida a reprodução parcial ou total, fora do Sistema, sem a expressa autorização do Departamento Regional de Pernambuco.

SENAI – Departamento Regional de Pernambuco
Rua Frei Cassimiro, 88 – Santo Amaro
50100-260 - Recife – PE
Tel.: (81) 3416-9300
Fax: (81) 3222-3837

SUMÁRIO

Matéria	05
Átomos	06
Tensão Elétrica	14
Relação entre Desequilíbrio e Potencial Elétrico	20
Medição de Tensão CC	29
Corrente Elétrica	36
Resistência Elétrica	39
Materiais e Condutores e Isolantes	45
Circuito Elétrico	49
Resistores	55
Código de Cores para Resistores	61
Associação de Resistores	68
Lei de Ohm	73
Primeira Lei de Kirchhoff	82
Segunda Lei de Kirchhoff	88
Resistores Ajustáveis	91
Potenciômetros	95
Introdução ao Osciloscópio	103
O painel do Osciloscópio e a Função dos seus Controles	104
Medição de Tensão Contínua	118
Medição de Tensão Alternada	127
Medição de Freqüência com Osciloscópio	137
Capacitor	143
Capacitância	149
Tipos de Capacitores	151
Comportamento do Capacitor em CA	160
Especificação Técnica dos Capacitores	163
Associação de Capacitores	167
Materiais Semiconudtores	177
O Diodo Semicondutor	187
Retificação de Meia Onda	206
Retificação de Onda Completa	213
Filtros em Fontes de Alimentação	224
Diodo Emissor de Luz	235
Diodo Zener	240
O Diodo Zener como Regulador de Tensão	250
Bibliografia	258

INTRODUÇÃO

Esta apostila foi elaborada para que o leitor compreenda melhor os fenômenos elétricos e suas aplicações na vida prática.

Quando ligamos a televisão, o rádio ou o computador, estamos utilizando a eletricidade. Seria muito difícil imaginar o mundo de hoje sem esse fenômeno.

Aqui estão contidas informações sobre matéria, tensão, corrente elétrica, resistência, resistores, diodos, capacitores, lei de ohm, retificadores de meia onda e de onda completa.

Para uma boa compreensão do conteúdo e desenvolvimento das atividades neste curso, você deverá estar familiarizado com esses assuntos.

Estude-os atentamente, pois as informações apresentadas serão utilizadas no dia a dia do aprendizado de eletrônica básica I.

Matéria

O termo **matéria** é empregado genericamente a qualquer substância existente na natureza independentemente do seu estado (sólido, líquido ou gasoso). A **Fig.1** mostra alguns exemplos.

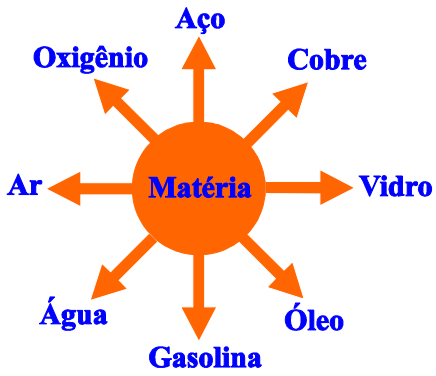


Fig.1 Exemplos de matéria.

A forma como a **matéria** se comporta física, química ou eletricamente na natureza depende da sua estrutura. O conhecimento da estrutura da **matéria**, em muitas ocasiões, é indispensável para a compreensão do comportamento dos componentes nos circuitos elétricos.

ESTRUTURA DA MATÉRIA

Qualquer porção de **matéria** pode ser dividida sucessivamente em partes cada vez menores. Por exemplo, uma grande quantidade de água pode ser dividida em várias porções cada uma com um metro cúbico. Cada metro cúbico de água, por sua vez, pode ser dividido em litros, que também podem ser divididos em copos e daí em gotas etc.

Átomos

As partículas que constituem as moléculas foram denominadas pelos gregos de átomos. Eles acreditavam serem estas as menores partículas do universo, não podendo portanto serem divididas. Entretanto, com o desenvolvimento dos métodos de pesquisa científicas verificou-se que os átomos também são constituídos por partículas menores, denominadas de **partículas subatômicas**. Estas partículas subatômicas são os **prótons**, os **elétrons** e os **nêutrons**. Cada uma destas partículas subatômicas tem características próprias. A **Tabela 2** mostra as características elétricas destas três partículas.

Tabela 2 Características elétricas do **próton**, **elétron** e **nêutron**.

Partícula	Propriedade elétrica
Próton	Possui carga elétrica positiva. Adota-se por convenção o valor (+1) para a quantidade de carga do próton.
Elétron	Possui a mesma quantidade de carga do próton, mas um sinal negativo, isto é, a carga do elétron vale (−1) de acordo com a convenção utilizada.
Nêutron	É uma partícula subatômica que não possui carga elétrica.

MASSA DAS PARTÍCULAS SUBATÔMICAS

Como as partículas subatômicas são muito pequenas, suas massas não podem ser determinadas em função das unidades normais de massa (quilograma, grama, miligrama etc.). Por esta razão, convencionou-se uma unidade específica para definir a massa das partículas subatômicas: **a unidade de massa atômica**, abreviadamente **u.m.a**. A massa de cada partícula subatômica está especificada na **Tabela 3.**

Tabela 3 Massa do **próton**, do **elétron** e do **nêutron**.

Partícula	Massa
Próton	Possui uma massa correspondente a 1 u.m.a.
Elétron	Possui uma massa equivalente à fração 1/1836 da massa do próton
Nêutron	Possui uma massa correspondente a 1 u.m.a.

A ESTRUTURA DO ÁTOMO

A forma como as partículas subatômicas estão organizadas em um átomo, em muito se assemelha à configuração do sistema solar do qual a Terra faz parte, como mostrado na **Fig.5**.

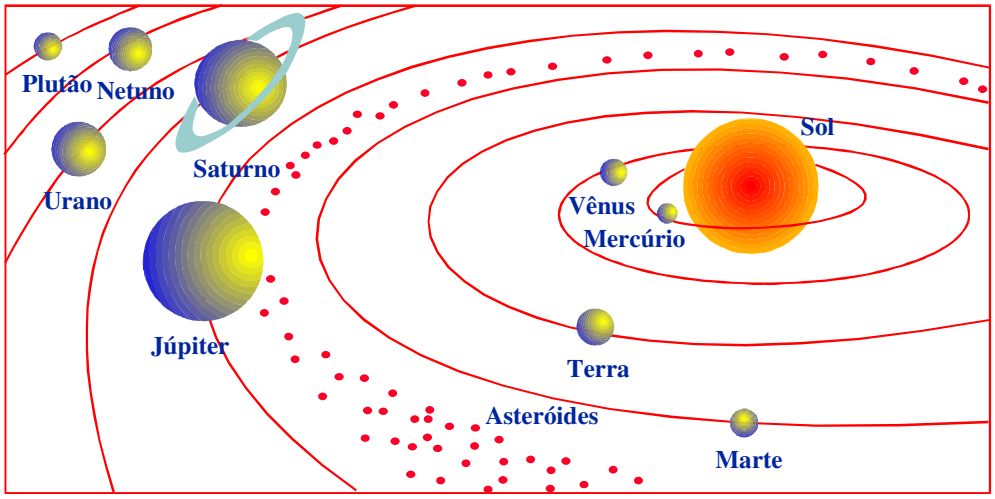


Fig.5 O Sistema solar.

O sistema solar é composto pelo Sol, que ocupa a região central ou núcleo do sistema, e dos planetas que giram ao seu redor em trajetórias que formam órbitas fechadas, como se pode ver na **Fig.6**.

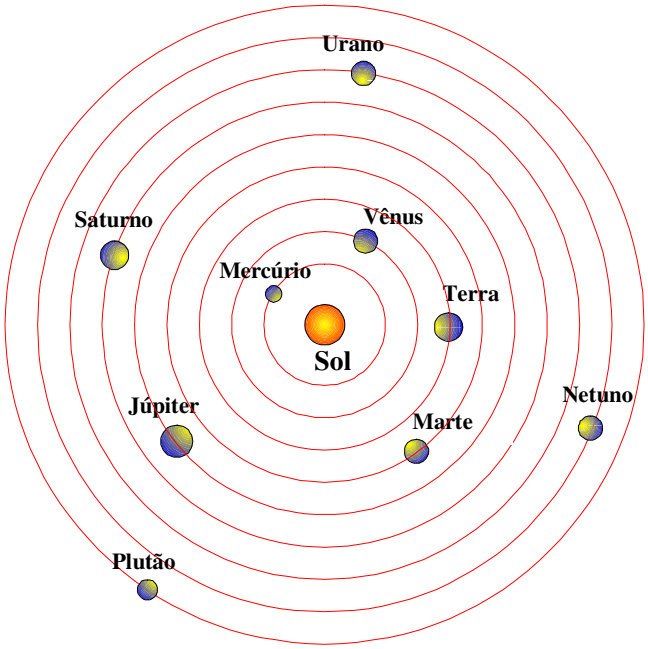


Fig.6 O sistema solar.

Como se pode observar na **Fig.7**, no átomo os **prótons** e **nêutrons** se reúnem na região central formando o núcleo.

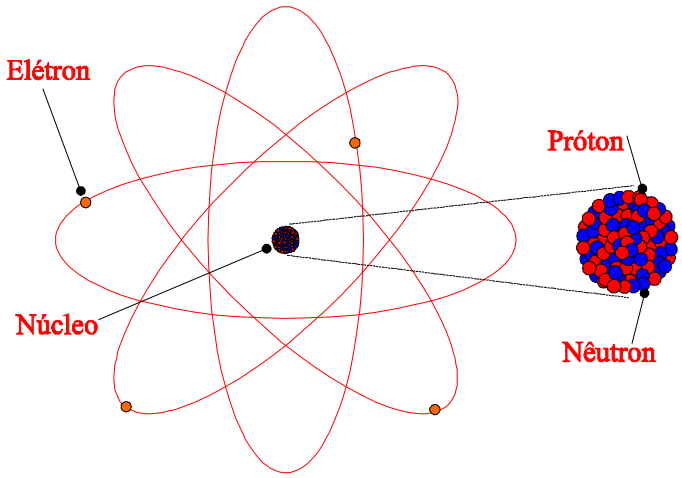


Fig.7 O núcleo do átomo.

Núcleo é a região central do átomo, sendo formado pelo agrupamento de prótons e nêutrons.

Os **elétrons**, assim como os planetas do sistema solar, giram ao redor do núcleo, descrevendo trajetórias denominadas de órbitas.

A região do espaço ao redor do núcleo onde os **elétrons** se movimentam é denominada de eletrosfera.

Eletrosfera é a região do espaço ao redor do núcleo onde os elétrons se movimentam.

Observando o átomo, verifica-se que as partículas de maiores massas, o **próton** e o **nêutron**, localizam-se no núcleo. Por esta razão, pode-se dizer que praticamente toda a massa de um átomo está concentrada no seu núcleo. Os **elétrons** que orbitam ao redor do núcleo do átomo estão distribuídos em camadas ou níveis energéticos.

De acordo com o número de **elétrons**, a eletrosfera pode apresentar de 1 a 7 níveis energéticos, denominados de nível K, L, M, N, O, P e Q.

A **Fig.8** mostra os átomos de alguns elementos químicos com as respectivas distribuições de **elétrons** nas camadas.

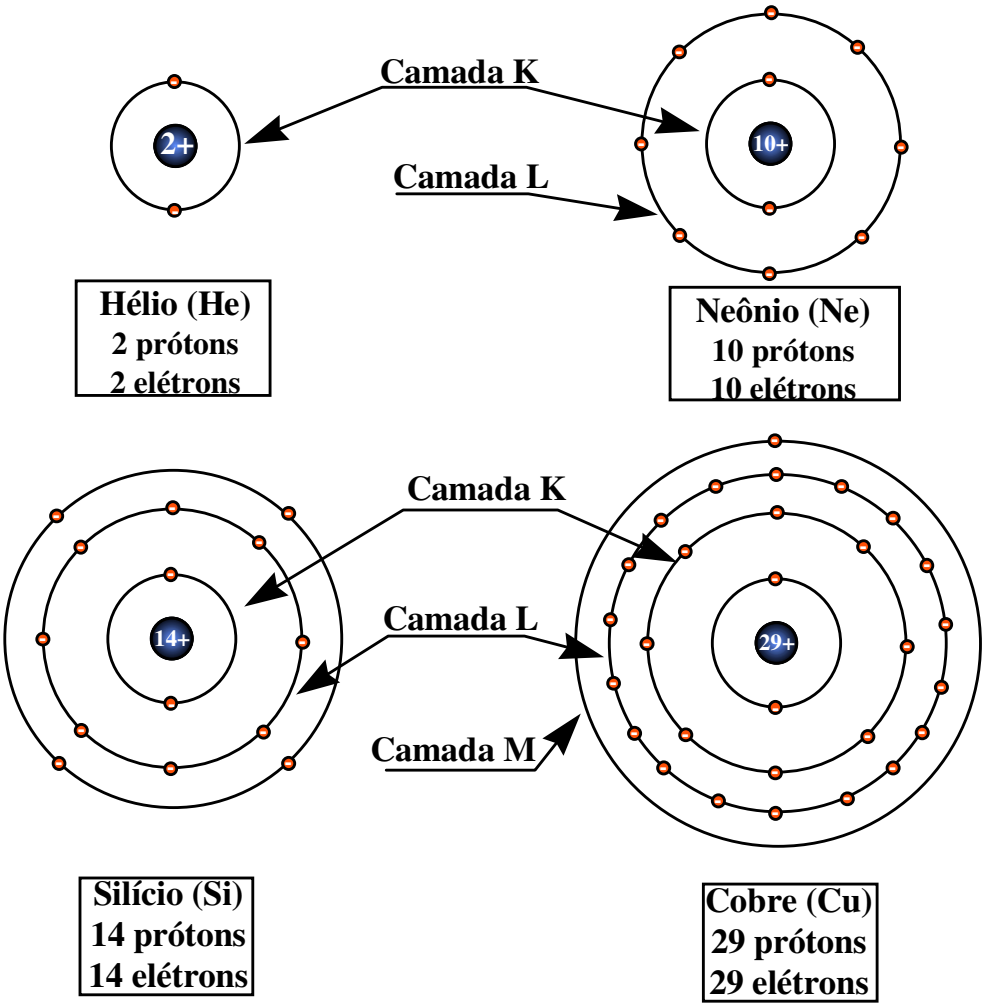


Fig.8 Átomos de Hélio (He), Neônio (Ne), Silício (Si) e Cobre (Cu).

A distribuição dos **elétrons** nos diversos níveis obedece a condições bem definidas. A regra mais importante referente à estrutura atômica e de importância na compreensão dos fenômenos da eletricidade e da eletrônica, é a que diz respeito ao nível energético mais distante do núcleo ou camada externa. Esta regra diz que a camada energética mais externa de um átomo pode acomodar no máximo 8 elétrons.

Todas as reações químicas e elétricas, com exceção das reações nucleares, se processam na camada mais externa do átomo, denominada de camada ou nível de valência, conforme ilustrado na **Fig.9**.

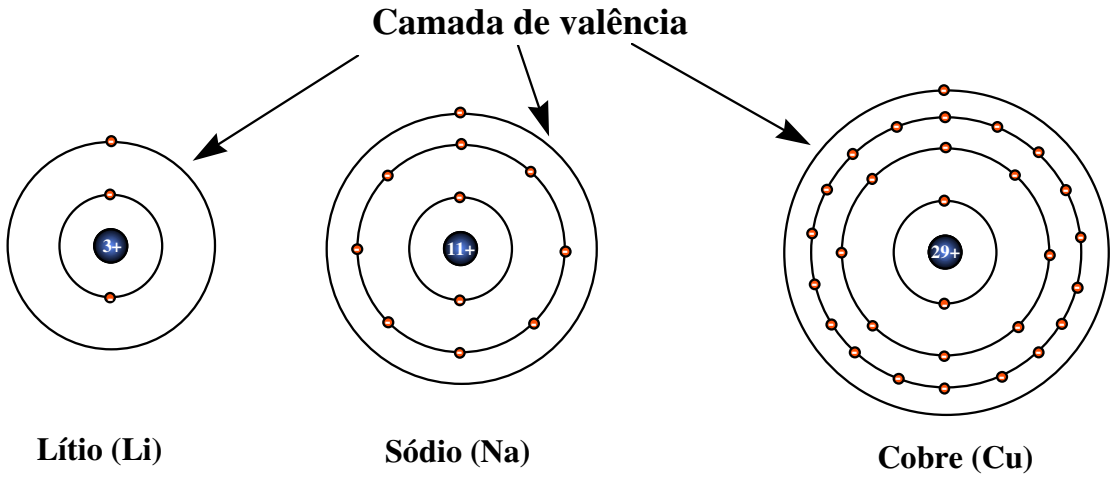


Fig.9 Camada de valência de alguns átomos.

A camada externa da eletrosfera onde se realizam as reações químicas e elétricas se denomina de camada de valência.

EQUILÍBRIO ELÉTRICO DE UM ÁTOMO

Das três partículas subatômicas, apenas o **próton** e o **elétron** possuem carga elétrica. Em condições normais, os átomos tendem a assumir uma condição de neutralidade ou equilíbrio elétrico, de forma que o número total de **prótons** no núcleo é igual ao número de **elétrons** na eletrosfera. Quando esta condição ocorre, o átomo está **eletricamente neutro** ou equilibrado.

Um átomo está em equilíbrio elétrico quando o número de elétrons na eletrosfera é igual ao número de prótons no núcleo. Os nêutrons no núcleo, sendo eletricamente neutros, não interferem no equilíbrio elétrico do átomo.

A **Tabela 4** apresenta alguns exemplos de átomos eletricamente equilibrados.

Tabela 4 Exemplos de átomos eletricamente equilibrados.

Elemento	Símbolo	Número de prótons	Número de elétrons	Carga total do átomo
Hidrogênio	H	1	1	+1 – 1 = 0
Ferro	Fe	26	26	+26 – 26 = 0
Cobre	Cu	29	29	+29 – 29 = 0
Alumínio	Al	13	13	+13 – 13 = 0

Através de forças externas de origem magnética, térmica ou química, é possível retirar ou acrescentar **elétrons** na camada de valência de um átomo, fazendo com que haja um desequilíbrio elétrico. Quando, por um processo qualquer, um **elétron** é retirado da camada de valência, o átomo passa a estar carregado positivamente (um **elétron** a menos). Este átomo, ilustrado na **Fig.10**, passa a chamar-se de **íon positivo**.

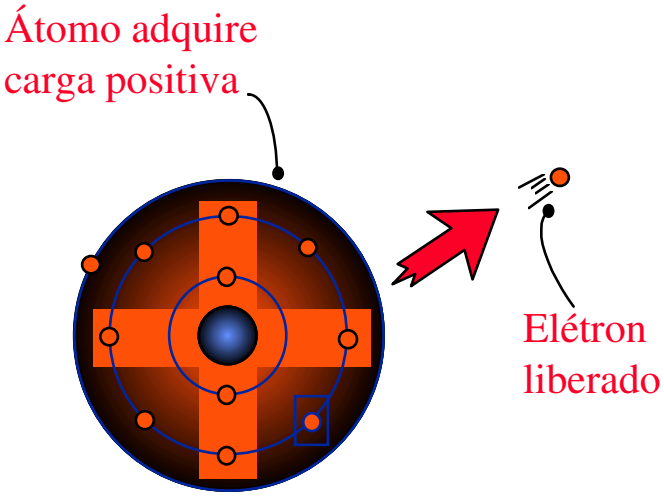


Fig.10 Átomo com carga positiva.

Íon positivo é um átomo com uma deficiência de um ou mais elétrons, tornando-se eletricamente positivo.

Da mesma forma, quando um **elétron** é colocado por um processo qualquer na última camada de um átomo, este átomo carregado negativamente é então chamado de **íon negativo**. A **Fig.11** mostra um átomo com carga negativa.

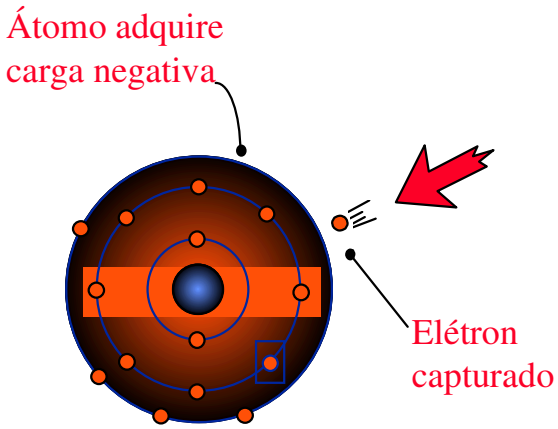


Fig.11 Átomo com carga negativa.

Íon negativo é um átomo com um excesso de um ou mais elétrons, tornando-se eletricamente negativo.

Qualquer átomo que esteja desequilibrado eletricamente é um íon. A transformação de um átomo em um íon é sempre causada por processos externos ao átomo. Uma vez terminado o processo causador do desequilíbrio elétrico, há uma tendência natural do átomo em atingir o equilíbrio elétrico, cedendo ou recuperando os **elétrons** necessários a sua neutralidade elétrica.

Os átomos sempre procuram atingir a estrutura estável eletricamente neutra.

QUESTIONÁRIO

1. O que são moléculas e de que são constituídas?
2. De que é formado o núcleo do átomo?
3. Que nome se dá à região do espaço ao redor do núcleo onde os elétrons se movimentam?

Tensão elétrica

Como se sabe, é necessária a existência de uma **tensão elétrica** para que seja possível o funcionamento de qualquer equipamento elétrico (lâmpadas, televisores, motores, computadores etc.). Nas próximas seções veremos que a tensão elétrica é uma grandeza que pode ser medida, e que tem origem no desequilíbrio elétrico dos corpos.

Tensão elétrica é uma grandeza que pode ser medida e que tem origem no desequilíbrio elétrico dos corpos.

ELETRIZAÇÃO DE UM CORPO

No estado natural, qualquer porção de matéria é eletricamente neutra. Isto significa que, se nenhum agente externo atuar sobre uma determinada porção de matéria, o número total de **prótons** e **elétrons** dos seus átomos será igual. A **Fig.1** mostra alguns corpos no estado natural e portanto eletricamente neutros.

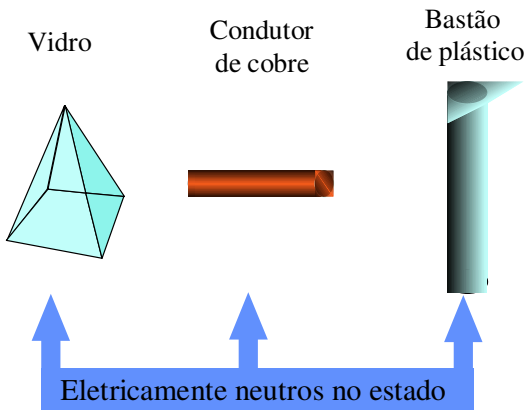


Fig.1 Exemplos de corpos neutros.

Esta condição de equilíbrio elétrico natural da **matéria** pode ser desfeita, de forma que um corpo deixe de ser neutro e fique carregado eletricamente. O processo através do qual se faz com que um corpo eletricamente neutro fique carregado é denominado de eletrização.

Eletrização é um processo que permite fazer com que um corpo neutro fique eletricamente carregado.

O tipo de carga elétrica (positiva ou negativa) que um corpo assume após sofrer um processo de eletrização depende do tipo do corpo e do processo utilizado. Os processos de eletrização atuam sempre nos **elétrons** que estão na última camada dos átomos (camada de valência). Quando um processo de eletrização retira **elétrons** da camada de valência dos átomos o material fica com o número de **prótons** maior que o número de **elétrons**. Nestas condições, o corpo fica eletricamente positivo, conforme ilustrado na **Fig.2**.

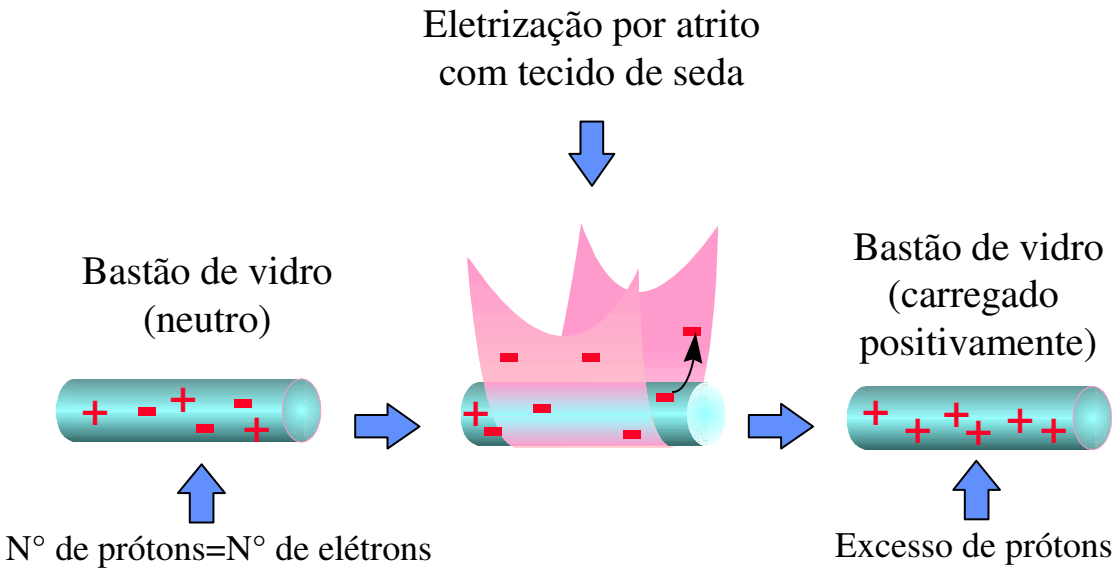


Fig.2 Eletrização por atrito produzindo um corpo carregado positivamente.

Na eletrização por retirada de elétrons, o corpo fica carregado positivamente.

Quando um processo de eletrização acrescenta **elétrons** a um material, o número de **elétrons** torna-se maior que o número de **prótons.** Nestas condições, o corpo fica eletricamente negativo, como mostrado na **Fig.3**.

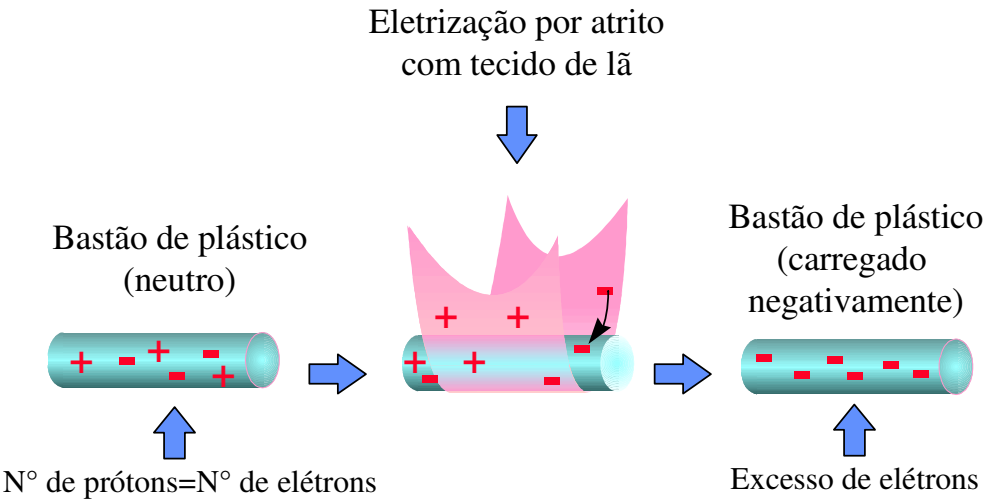


Fig.3 Eletrização por atrito produzindo um corpo carregado negativamente.

Na eletrização por acréscimo de elétrons, o corpo fica carregado negativamente.

ELETRIZAÇÃO POR ATRITO

Existem vários processos de eletrização, dentre os quais o mais comum é o por atrito. A eletrização por este processo é muito comum na natureza. Por exemplo, quando se usa um pente, o atrito com os cabelos provoca uma eletrização do pente (retiram-se **elétrons** do pente), conforme mostrado na **Fig.4**.

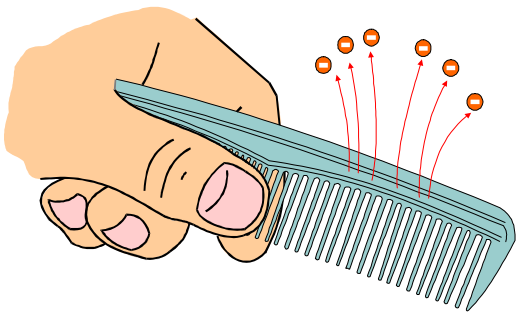


Fig.4 Eletrização do pente por atrito.

Aproximando-se o pente (eletrizado positivamente) de pequenos pedaços de papel, estes são atraídos momentaneamente pelo pente, comprovando a existência da eletrização, conforme ilustrado na **Fig.5**.

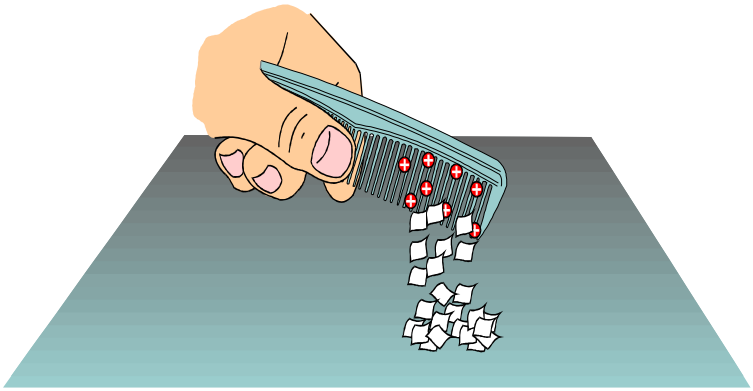


Fig.5 Atração de pequenos pedaços de papel por um pente eletrizado.

Outro exemplo muito comum na natureza de eletrização por atrito ocorre nas tempestades. As nuvens são atritadas contra o ar adquirindo com isso uma carga elétrica muito grande. O relâmpago, que é um fenômeno elétrico, comprova a existência de grandes cargas elétricas nas nuvens.

Existem ainda outros processos de eletrização, tais como: eletrização por indução, eletrização por contato, eletrização por impacto etc. Em qualquer processo, contudo, o resultado são corpos carregados eletricamente. A carga elétrica de um corpo obtida por eletrização denomina-se eletricidade estática.

ATRAÇÃO E REPULSÃO ENTRE CARGAS ELÉTRICAS

Quando dois corpos eletrizados são aproximados um do outro, nota-se que existe uma reação entre eles. Através da realização de experiências, verifica-se que se um dos corpos está carregado positivamente e o outro negativamente, existe uma tendência de os dois corpos se atraírem mutuamente. No entanto, se os dois corpos apresentam cargas de mesmo sinal, eles se repelem.

A partir destas observações, concluiu-se que:

Cargas de sinais opostos se atraem.

Cargas de mesmo sinais se repelem.

A **Fig.6** ilustra a interação entre dois corpos eletrizados.

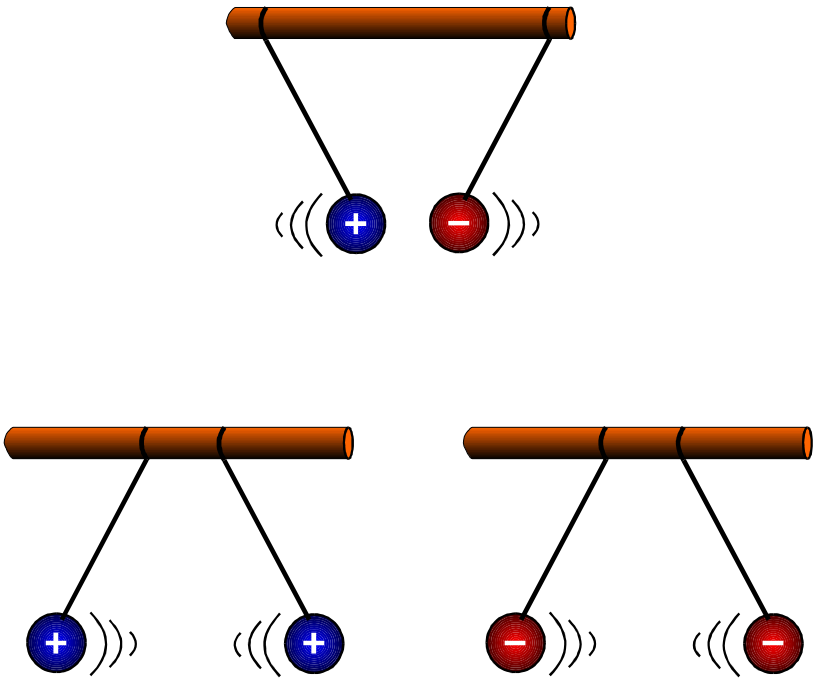


Fig.6 Interação entre corpos eletrizados.

POTENCIAL ELÉTRICO

Tomando-se um pente que não tenha sofrido nenhum atrito, ou seja, sem eletricidade estática, e aproximando-o de pequenas partículas de papel, não ocorre nenhum fenômeno de interação elétrica, conforme ilustrado na **Fig.7**.

Fig.7 Pente sem ter sofrido atrito e na presença de pequenos pedaços de papel.

Entretanto, se o pente for eletrizado, ao aproximá-lo das partículas de papel estas serão atraídas por ele. Isto significa que o pente carregado tem

capacidade de realizar o trabalho de movimentar o papel, como pode ser visto na **Fig.8**.

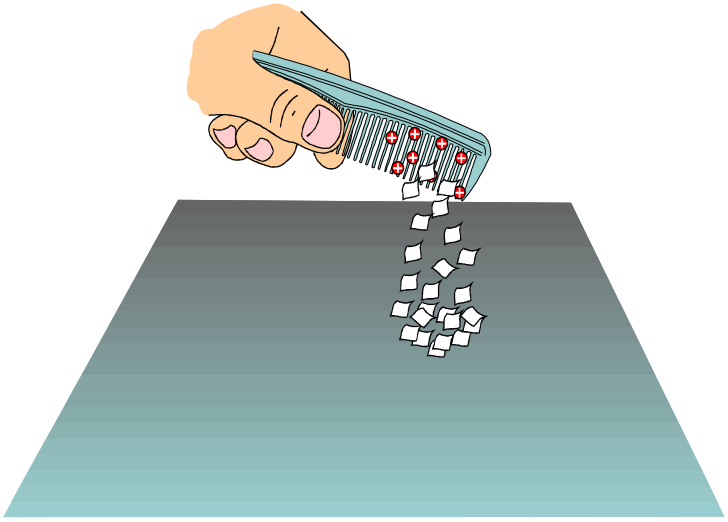


Fig.8 Efeito da atração eletrostática entre um pente eletrizado e pequenos pedaços de papel.

Quando um corpo adquire capacidade de realizar um trabalho, diz-se que este corpo tem **potencial**. Como no caso do pente, a capacidade de realizar o trabalho se deve a um desequilíbrio elétrico. Assim, seu potencial é denominado de **potencial elétrico**. Qualquer corpo eletrizado tem capacidade de realizar um trabalho.

Todo corpo eletrizado apresenta um potencial elétrico.

A afirmação também é válida para corpos eletrizados negativamente. Os corpos eletrizados **positivamente** têm **potencial elétrico positivo** e os **corpos eletrizados negativamente** têm **potencial elétrico negativo**, conforme ilustrado na **Fig.9**.

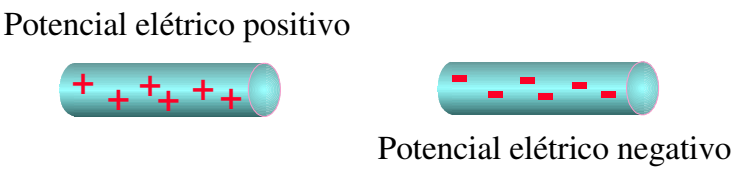
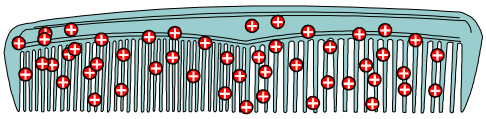


Fig.9 Corpos com potenciais elétricos positivos e negativos.

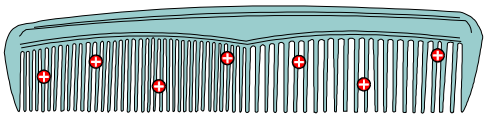
Relação entre desequilíbrio e potencial elétrico

Através dos processos de eletrização, é possível fazer com que os corpos fiquem intensamente ou fracamente eletrizados. Um pente fortemente atritado fica intensamente eletrizado, enquanto que se for fracamente atritado, sua eletrização será fraca, conforme ilustrado nas **Figs.10** e **11**.



Intensa eletrização

Fig.10 Pente fortemente atritado.



Fraca eletrização

Fig.11 Pente fracamente atritado.

O pente intensamente atritado tem maior capacidade de realizar trabalho porque é capaz de atrair maior quantidade de partículas de papel, como mostrado nas **Figs.12** e **13**.

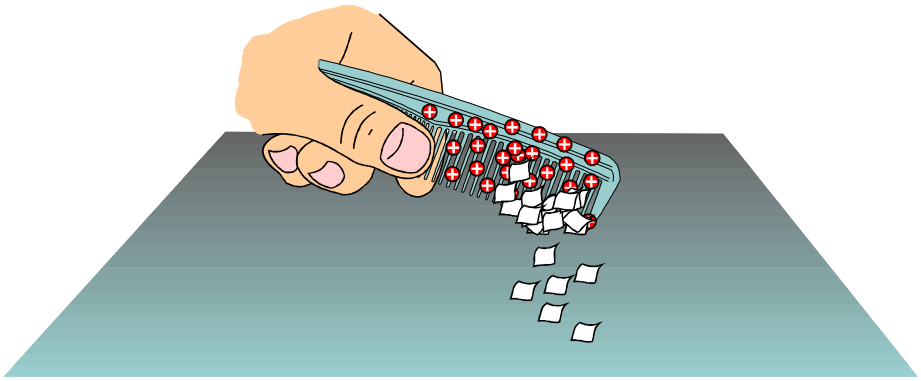


Fig.12 Pente fortemente atritado atrai mais papel.

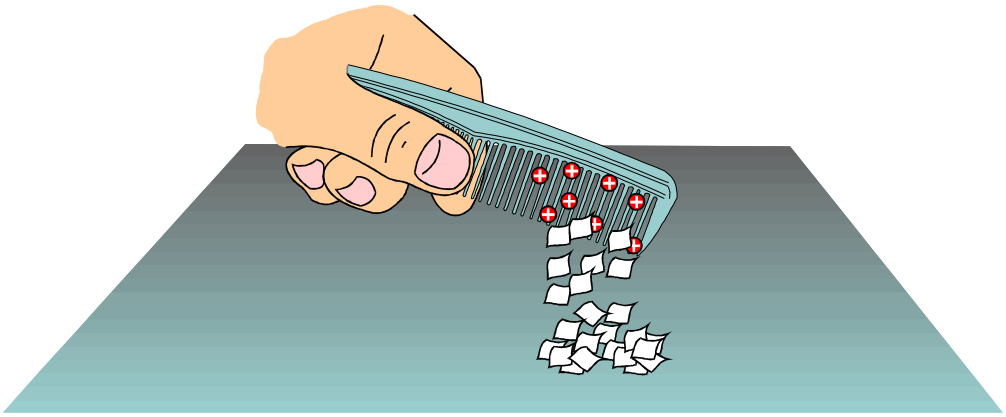


Fig.13 Pente fracamente atritado atrai menos papel.

Como a maior capacidade de realizar trabalho significa maior potencial, conclui-se que o pente intensamente eletrizado tem maior potencial elétrico, como ilustra as **Figs.14** e **15**.

POTENCIAL ELÉTRICO MAIOR

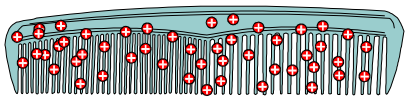


Fig.14 Pente com maior potencial.

POTENCIAL ELÉTRICO MENOR

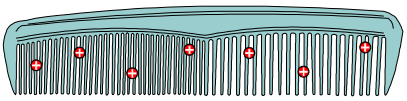


Fig.15 Pente com menor potencial.

O potencial elétrico de um corpo depende diretamente do desequilíbrio elétrico existente neste corpo.

Um maior desequilíbrio elétrico implica num maior potencial elétrico.

Um corpo que tenha um desequilíbrio elétrico duas vezes maior que outro, tem potencial elétrico duas vezes maior.

Quando se comparam os trabalhos realizados por dois corpos eletrizados, automaticamente está-se comparando os seus potenciais elétricos.

A diferença entre os trabalhos expressa diretamente a diferença de potencial elétrico entre os dois corpos.

A diferença de potencial, abreviada por **ddp** é importantíssima nos estudos relacionados com eletricidade e eletrônica. A palavra **diferença** implica sempre em comparação de um valor com outro. Assim, pode-se verificar a existência de diferença de potencial entre corpos eletrizados com cargas diferentes ou com o mesmo tipo de carga, conforme ilustrado na **Fig.16**.

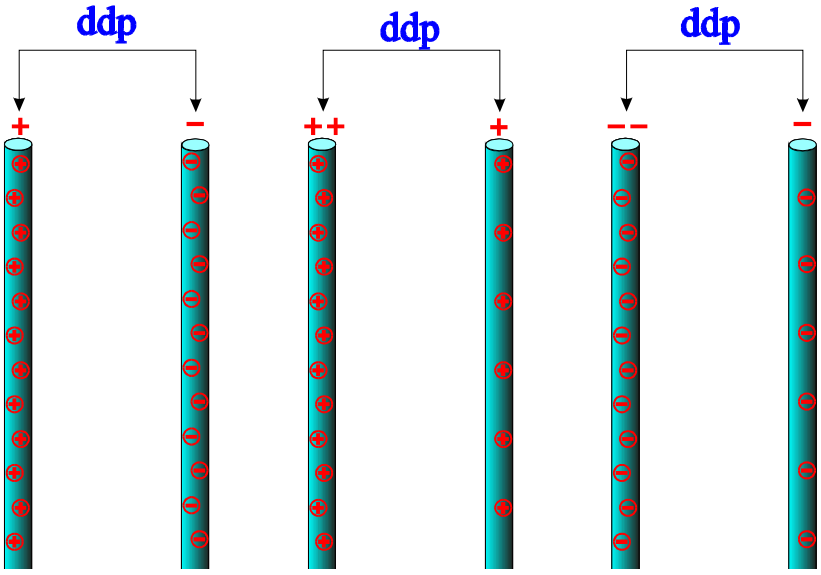


Fig.16 Diferença de potencial entre corpos eletrizados.

A diferença de potencial é também denominada de **tensão elétrica**.

No campo da eletrônica e da eletricidade, utiliza-se quase exclusivamente a expressão tensão ou tensão elétrica para indicar a ddp.

UNIDADE DE MEDIDA DE TENSÃO

A tensão entre dois pontos pode ser medida através de instrumentos. A unidade de medida de tensão é o Volt e o símbolo desta grandeza elétrica é V.

O Volt é a unidade de medida de tensão.

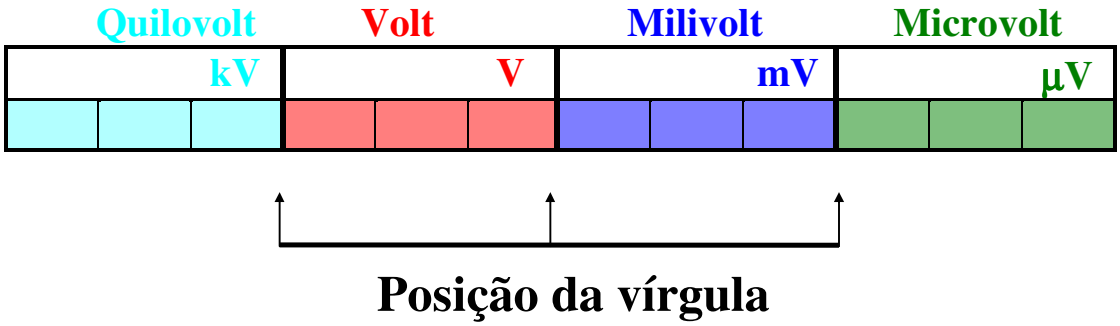
Em algumas situações, a unidade de medida padrão se torna inconveniente. Por exemplo, o metro, que é uma unidade de medida de comprimento, não é adequada para expressar o comprimento de um pequeno objeto, como por exemplo, o diâmentro de um botão, utilizando-se por isso submúltiplos do metro, como o centímetro (0,01m) ou milímetro (0,001m). A unidade de medida de tensão (Volt) também tem múltiplos e submúltiplos adequados a cada situação. A **Tabela 1** mostra alguns deles.

Tabela 1 Múltiplos e submúltiplos do Volt.

Denominação		**Símbolo**	**Valor com relação ao Volt**
Múltiplos	Megavolt	MV	10^6 V ou 1.000.000V
	Quilovolt	KV	10^3 V ou 1.000V
Unidade	Volt	V	–
Submúltiplos	Milivolt	MV	10^{-3} V ou 0,001V
	Microvolt	μV	10^{-6} V ou 0,000001V

No campo da eletricidade, usam-se normalmente o volt e o quilovolt. Na área da eletrônica, contudo, usa-se normalmente o volt, o milivolt e o microvolt.

A conversão de valores é feita de forma semelhante à de outras unidades de medida.



Apresentam-se a seguir alguns exemplos de conversão.

1) 3,75V é o mesmo que 3750 mV. Veja porque:

kV			V			mV			µV		
					3	7	5				

kV			V			mV			µV		
					3	7	5	0			

2) 0,05V é o mesmo que 50mV. Veja porque:

kV			V			mV			µV		
					0	0	5				

kV			V			mV			µV		
					0	0	5	0			

3) 200mV é o mesmo que 0,2V. Veja porque:

kV			V			mV			µV		
						2	0	0			

kV			V			mV			µV		
					0	2	0	0			

4) 15mV é o mesmo que 15000µV. Veja porque:

kV			V			mV			µV		
							1	5			

kV			V			mV			µV		
							1	5	0	0	0

FONTES GERADORAS DE TENSÃO

A existência de tensão é condição fundamental para o funcionamento de todos os aparelhos elétricos. A partir desta necessidade, foram desenvolvidos dispositivos que têm a capacidade de criar um desequilíbrio elétrico entre dois pontos dando origem a uma tensão elétrica. Estes dispositivos são denominados genericamente de **fontes geradoras de tensão**.

Existem vários tipos de fontes geradoras de tensão. As **Figs.17**, **18** e **19** mostram algumas delas.

Fig.17 Pilhas.

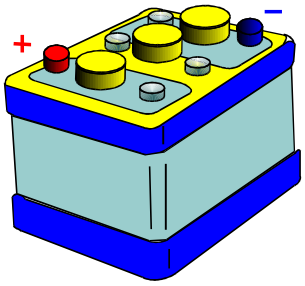


Fig.18 Baterias.

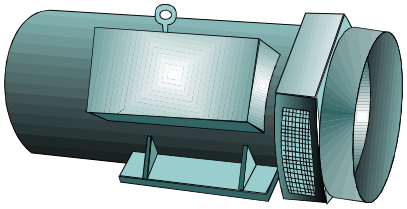


Fig.19 Geradores.

PILHAS

As pilhas são fontes geradoras de tensão usadas, por exemplo, em diversos aparelhos portáteis. Elas são constituídas basicamente por dois tipos de metais mergulhados em um preparado químico, conforme ilustrado na **Fig.20**.

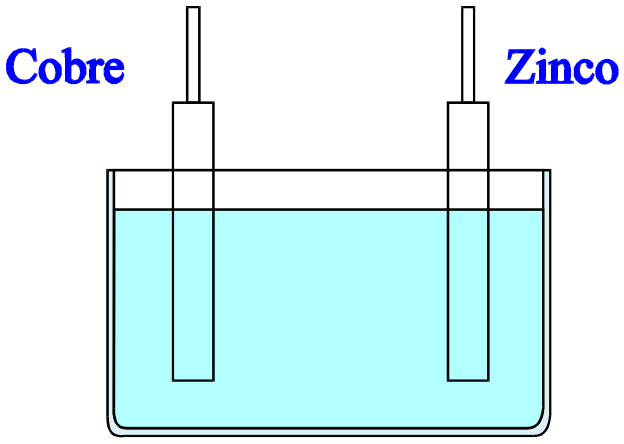


Fig.20 Constituição básica de uma pilha.

Este preparado químico reage com os metais retirando **elétrons** de um e levando para o outro. Um dos metais fica com potencial elétrico positivo e o outro fica com potencial elétrico negativo. A **Fig.21** ilustra a eletrização dos metais.

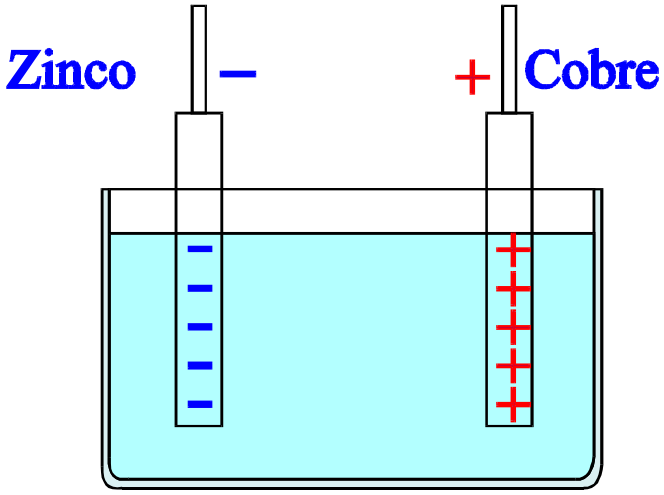


Fig.21 Processo de eletrização dos metais.

Entre os dois metais existe, portanto, uma **ddp** ou **tensão elétrica**, conforme mostrado na **Fig.22**.

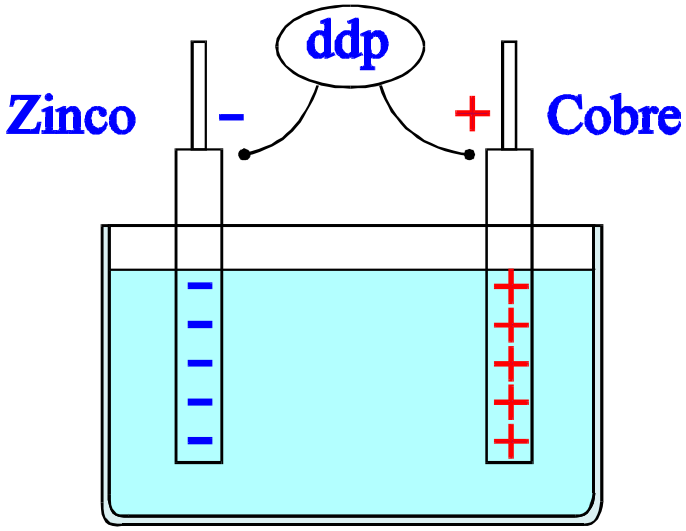


Fig.22 Diferença de potencial entre os dois metais de uma pilha.

Pela própria característica de funcionamento das pilhas, um dos metais torna-se positivo e o outro negativo. Cada um dos metais é denominado de pólo. As pilhas dispõem de um pólo **positivo** e um pólo **negativo**. A **Fig.23** mostra o aspecto real de duas pilhas (pilha pequena e pilha de telefone), indicando os seus pólos.

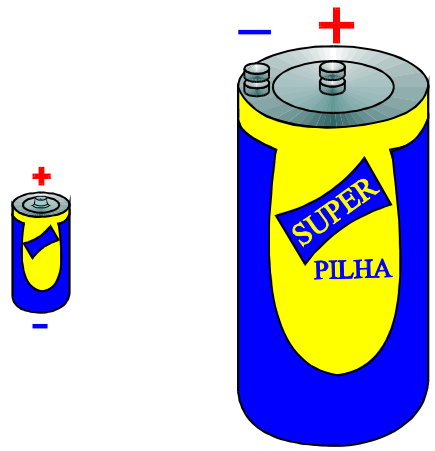


Fig.23 Exemplos de pilhas com a indicação de seus pólos.

Os pólos de uma pilha nunca se alteram. O pólo **positivo** sempre tem potencial **positivo** e o pólo **negativo** sempre tem potencial negativo. Normalmente se diz que as polaridades de uma pilha são fixas.

Devido ao fato de as pilhas terem polaridade invariável, a tensão fornecida é denominada de **tensão contínua, tensão CC (corrente contínua) ou ainda tensão DC (do inglês direct current)**.

Tensão contínua é a tensão elétrica entre dois pontos cuja polaridade é invariável.

Todas as fontes geradoras de tensão que têm polaridade fixa são denominadas de fontes geradoras de tensão contínua.

Fontes geradoras de tensão contínua têm polaridade fixa.

QUESTIONÁRIO

1. O que se entende por tensão elétrica e qual a sua unidade ?
2. O que se entende por eletrização ?
3. O que é uma tensão contínua ?

Medição de tensão CC

A medição de tensão CC consiste na utilização correta de um instrumento com o objetivo de determinar a tensão presente entre dois pontos. A medição pode ser usada para determinar a tensão fornecida por uma fonte geradora de tensão CC, conforme ilustrado na **Fig.1**.

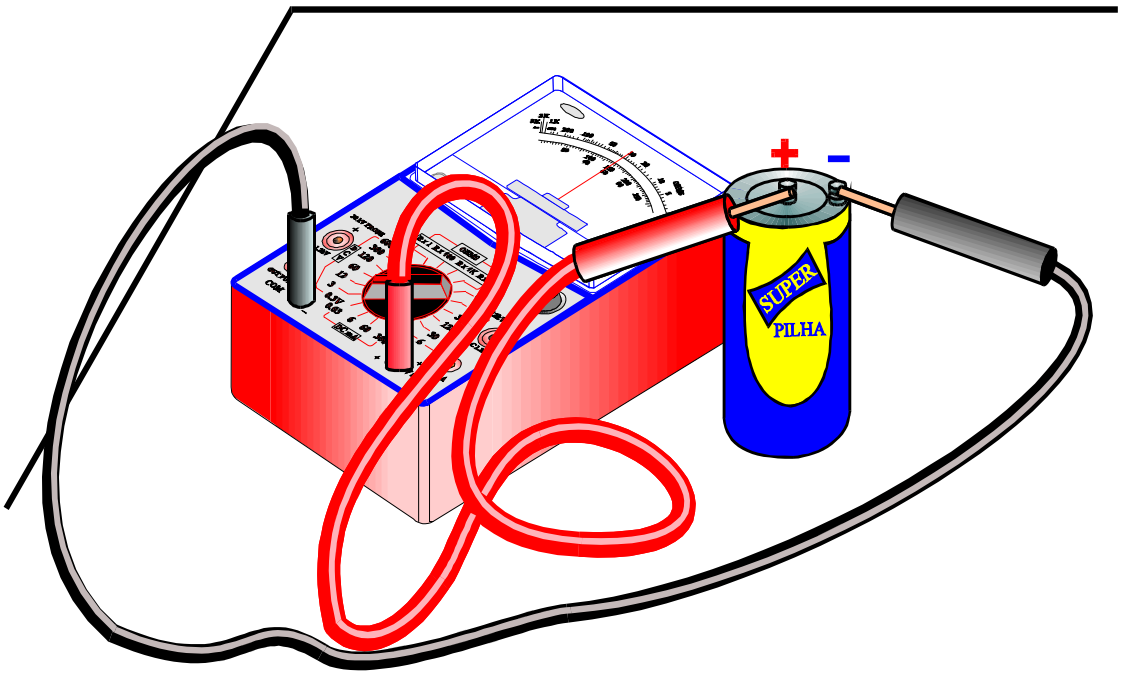


Fig.1 Medição de uma tensão CC.

Existem dois tipos de instrumentos através dos quais se pode medir tensão CC: o **voltímetro** (ilustrado na **Fig.2**) e o **multímetro** (ilustrado na **Fig.3**).

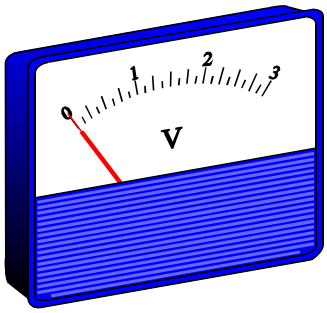


Fig.2 O voltímetro.

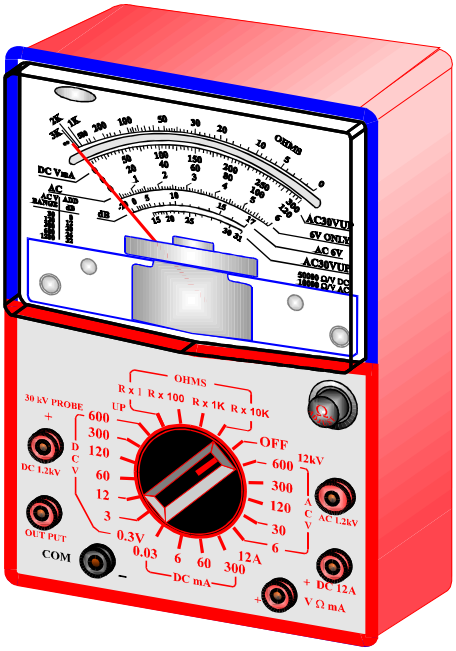


Fig.3 O multímetro.

VOLTÍMETRO E MILIVOLTÍMETRO

Os voltímetros e milivoltímetros são instrumentos próprios para a medição de tensão. Estes instrumentos apresentam a letra **V** ou **mV** na sua escala frontal, como mostrado na **Fig.4**.

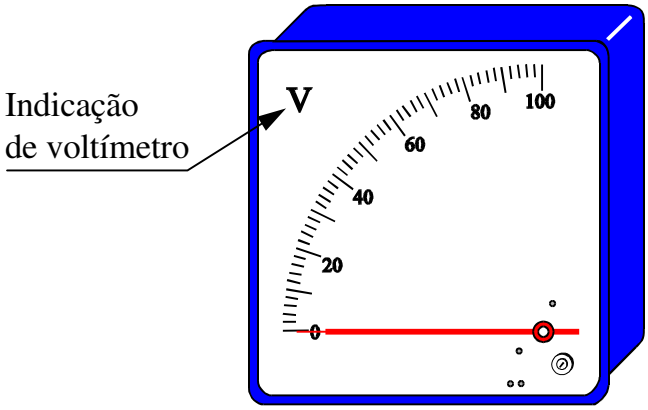


Fig.4 Vista frontal de um voltímetro.

Existem voltímetros e milivoltímetros destinados especificamente para medição de tensões contínuas. O símbolo em destaque na **Fig.5**, é utilizado para indicar que o voltímetro de bobina móvel é utilizado para medir tensões CC.

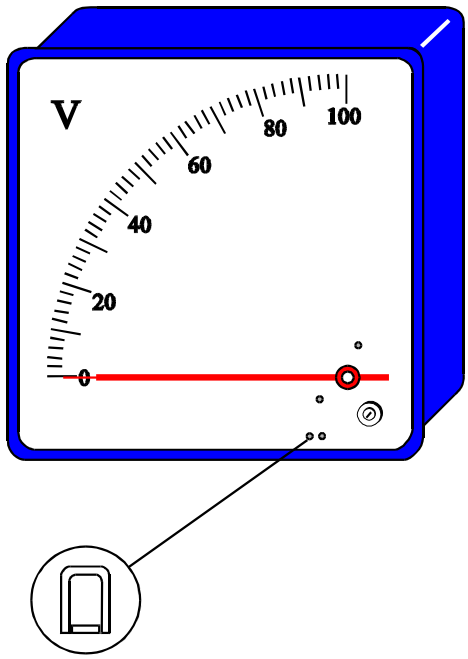


Fig.5 Voltímetro para a medição de tensão CC.

Os voltímetros e milivoltímetros para tensões contínuas têm dois **bornes** na parte posterior que se destinam a receber a tensão cujo valor será indicado na escala, conforme ilustrado na **Fig.6**.

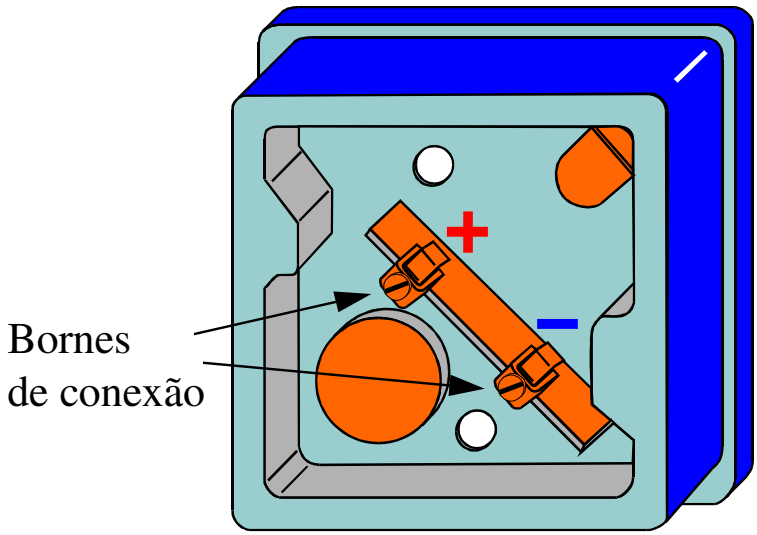


Fig.6 Vista posterior de um voltímetro.

Os bornes são identificados com os sinais + e – porque os voltímetros de CC têm polaridade estabelecida para ligação.

Os voltímetros e milivoltímetros para tensões contínuas têm polaridade de ligação especificada.

Para realizar a medição, utiliza-se normalmente conectar dois condutores chamados de **pontas de prova** aos bornes do instrumento, conforme ilustrado na **Fig.7**.

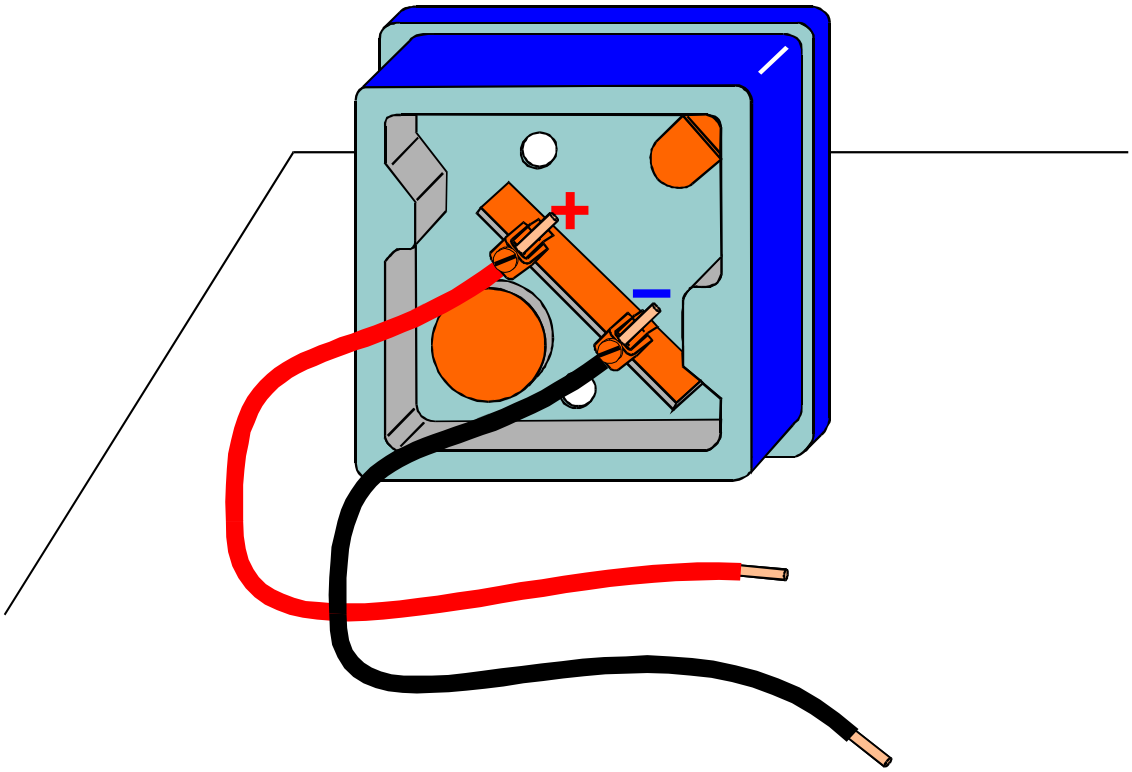


Fig.7 Conexão de duas pontas de prova nos bornes do voltímetro.

Quando se usam pontas de prova (com as cores **preta** e **vermelha**), deve-se utilizar a ponta de prova **vermelha** no borne **positivo** (**+**) do instrumento.

Na posição DCV 60, a leitura é feita na escala de 0 a 6 e o valor lido é multiplicado por 10, conforme ilustrado na **Fig.31**.

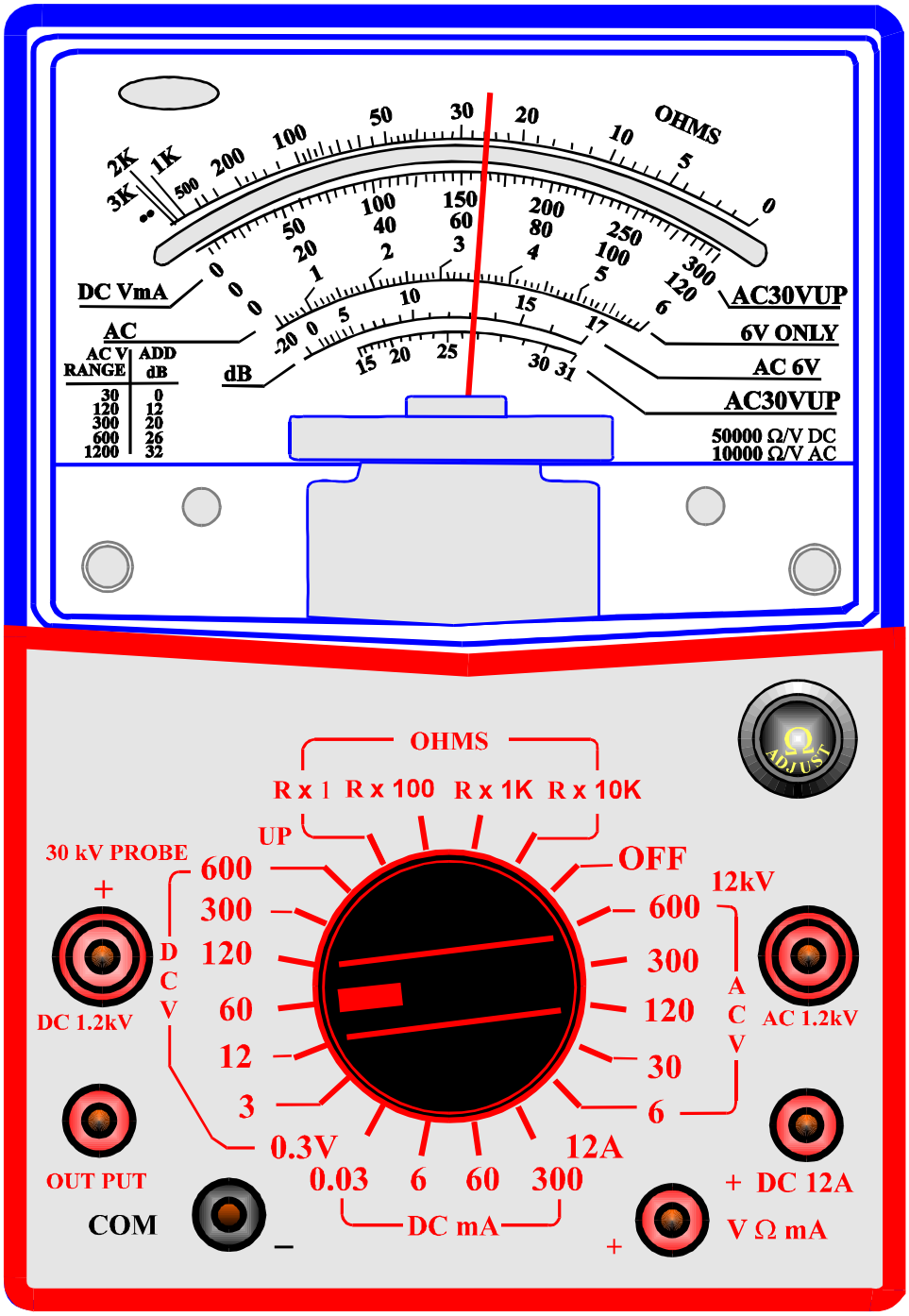


Fig.31 Leitura de uma tensão de 35V com a chave seletora posicionada na posição DC V 60 e leitura na escala de 0 a 6V.

Na posição DCV 600, a leitura é feita na escala de 0 a 6 e o valor lido é multiplicado por 100, conforme ilustrado na **Fig.32**.

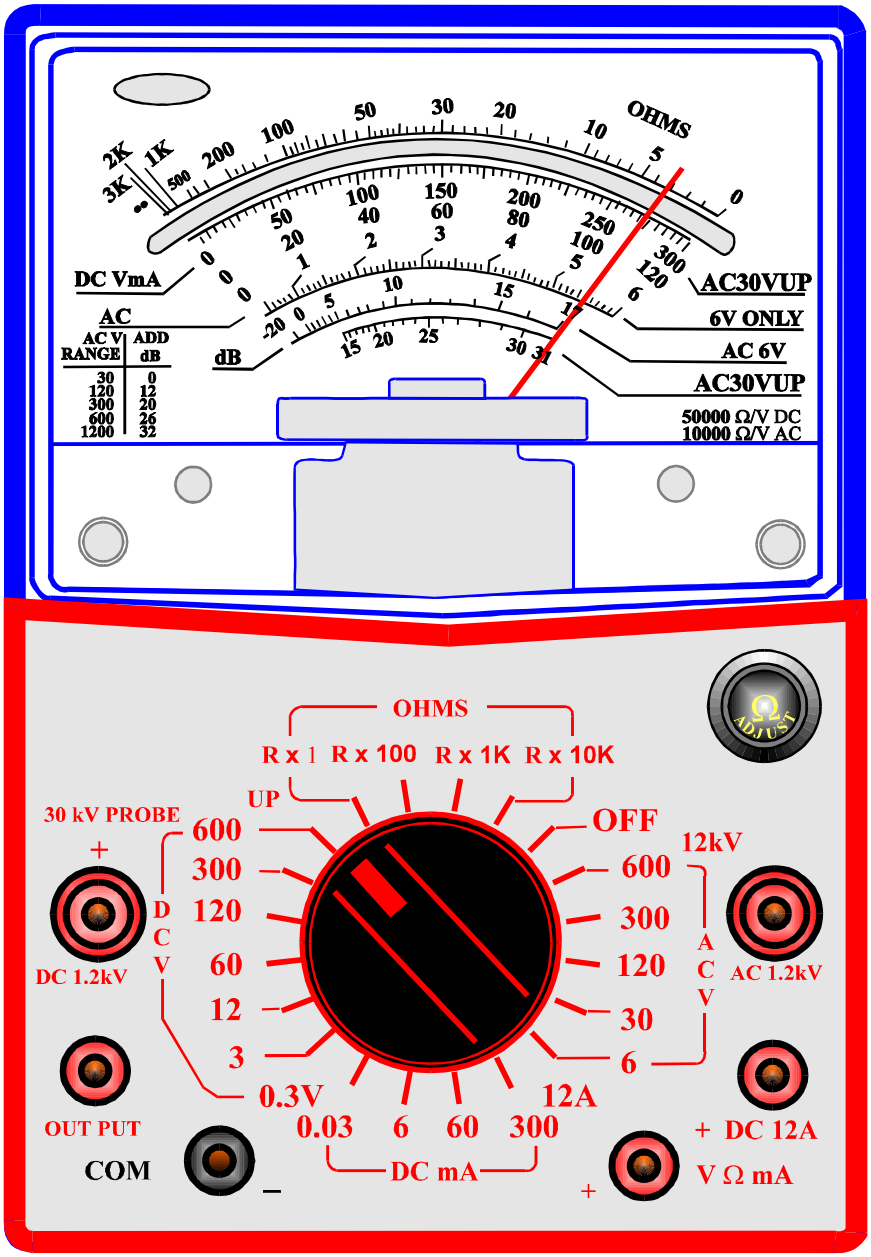


Fig.32 Leitura de uma tensão de 550V com a chave seletora posicionada na posição DCV 600 e leitura na escala de 0 a 6V.

Inicialmente, a interpretação de valores de tensão a partir do multímetro pode parecer difícil. Entretanto, com o uso constante deste instrumento, o procedimento de leitura será automaticamente exercitado e se tornará fácil.

CUIDADOS COM O MULTÍMETRO

O multímetro é um instrumento utilizado no dia a dia de quem lida com eletrônica e eletricidade. A utilização de alguns procedimentos relativos à segurança, conservação e manejo contribuem para a manutenção do equipamento em boas condições de uso durante muito tempo.

Estes procedimentos estão listados a seguir:

PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA

- Mantenha o multímetro sempre longe das extremidades da bancada.
- O multímetro não deve ser empilhado sobre qualquer objeto ou equipamento.
- Sempre que o instrumento não estiver em uso, posicione a chave seletora de escala para a posição desligado (OFF). Caso isto não seja possível, posicione a chave seletora para a posição ACV na maior escala.

PROCEDIMENTOS DE CONSERVAÇÃO

- Faça a limpeza do instrumento apenas com pano limpo e seco.

PROCEDIMENTOS DE MANUSEIO

- A chave seletora deve ser posicionada adequadamente para cada tipo de medição.
- As pontas de prova devem ser introduzidas nos bornes apropriados.
- A polaridade deve estar sempre sendo observada nas medições de tensão CC.
- A tensão a ser medida não deve exceder o valor determinado pela chave seletora do instrumento.

Corrente elétrica

A corrente elétrica consiste em um movimento orientado de cargas, provocado pelo desequilíbrio elétrico (ddp) existente entre dois pontos, como mostrado na **Fig.1**.

Fig.1 Origem da corrente elétrica.

A corrente elétrica é a forma pela qual os corpos eletrizados procuram restabelecer novamente o equilíbrio elétrico.

DESCARGAS ELÉTRICAS

As descargas elétricas são fenômenos comuns na natureza. Os relâmpagos são exemplos característicos de descargas elétricas.

O atrito contra o ar faz com que as nuvens fiquem altamente eletrizadas, adquirindo um potencial elevado (tensão muito alta). Quando duas nuvens com potenciais elétricos diferentes se aproximam uma da outra, ocorre uma descarga elétrica (relâmpago) entre elas, como ilustrado na **Fig.2**.

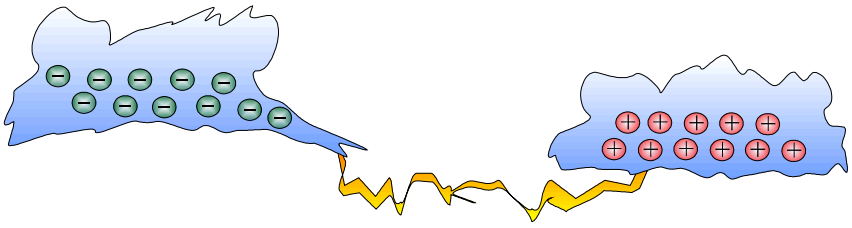


Fig.2 Descarga elétrica entre duas nuvens com potenciais diferentes.

Esta descarga nada mais é do que uma transferência orientada de cargas elétricas de uma nuvem para a outra.

A descarga elétrica é o movimento de cargas elétricas orientado entre dois pontos onde exista ddp.

Durante a descarga, um grande número de cargas elétricas é transferido numa única direção para diminuir o desequilíbrio elétrico entre dois pontos, conforme mostrado na **Fig.3**.

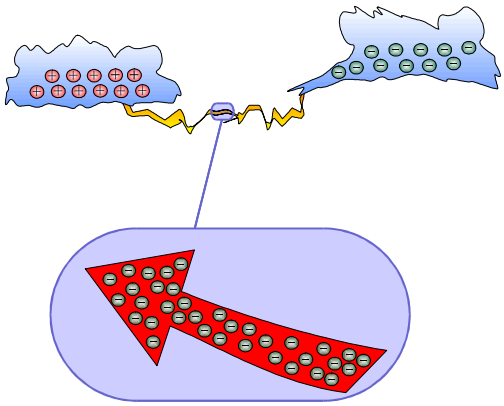


Fig.3 Movimento de cargas elétricas entre nuvens de diferentes potenciais.

Os elétrons que estão em excesso em uma nuvem se deslocam para a nuvem que tem falta de elétrons.

O deslocamento de cargas elétricas entre dois pontos onde existe uma **ddp** é denominado de corrente elétrica.

Corrente elétrica é o deslocamento orientado de cargas elétricas entre dois pontos quando existe uma ddp entre estes pontos.

A partir da definição de corrente elétrica, pode-se concluir que o relâmpago é uma corrente elétrica que ocorre devido à tensão elétrica existente entre as nuvens.

Durante o curto tempo de duração de um relâmpago, um grande número de cargas elétricas flui de uma nuvem para outra. Dependendo da grandeza do desequilíbrio elétrico entre as duas nuvens, a descarga (corrente elétrica) entre elas pode ter maior ou menor intensidade.

UNIDADE DE MEDIDA DA INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA

A corrente é uma grandeza elétrica e sua intensidade pode ser medida com um instrumento.

A unidade de medida da intensidade da corrente elétrica é o ampère e é representada pelo símbolo A.

Ampère é a unidade de medida da intensidade de corrente elétrica.

Uma intensidade de corrente de 1A significa que 6,25 x 10^{18} cargas elétricas passam em 1 segundo por um determinado ponto.

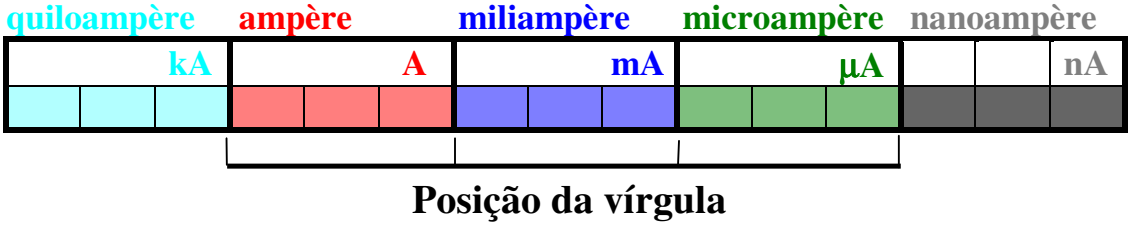
A unidade de intensidade de corrente também tem múltiplos e submúltiplos conforme apresentado na **Tabela 1**.

Tabela 1 Múltiplos e submúltiplos do ampére.

Denominação	Símbolo	Relação com a unidade
Quiloampère	kA	10^{3}A ou 1.000A
Ampère	A	-
Miliampère	mA	10^{-3}A ou 0,001A
Microampère	µA	10^{-6}A ou 0,000001A
Nanoampère	nA	10^{-9}A ou 0,000000001A
Picoampère	PA	10^{-12}A ou 0,000000000001A

No campo da eletrônica são mais utilizados o ampère, miliampère e o microampère.

A conversão de valores é feita de forma semelhante à de outras unidades de medida.



Resistência elétrica

Resistência elétrica é uma propriedade dos materiais que reflete o grau de oposição ao fluxo de corrente elétrica.

Resistência elétrica é a oposição que um material apresenta à passagem da corrente elétrica.

Todos os dispositivos elétricos e eletrônicos apresentam uma certa oposição à passagem da corrente elétrica.

ORIGEM DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A resistência que os materiais apresentam à passagem da corrente elétrica tem origem na sua estrutura atômica.

Para que a aplicação de uma **ddp** a um material origine uma corrente elétrica, é necessário que a estrutura deste material propicie a existência de cargas elétricas livres para movimentação.

Quando um material propicia a existência de um grande número de cargas livres, a corrente elétrica flui com facilidade através do material, conforme ilustrado na **Fig.4**. Neste caso, a resistência elétrica destes materiais é pequena.

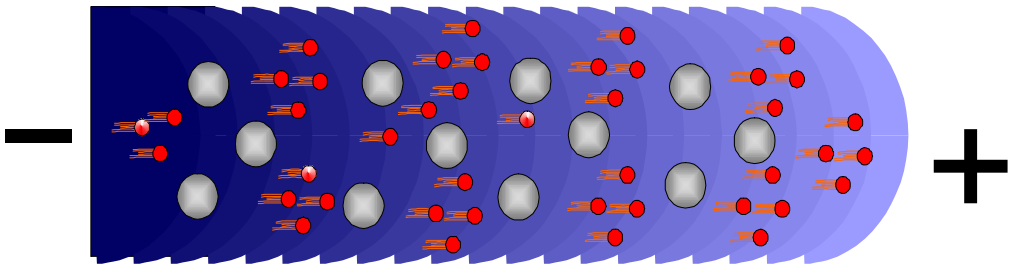


Fig.4 Movimento de cargas livres em um material de baixa resistência elétrica.

Por outro lado, nos materiais que propiciam a existência de um pequeno número de cargas livres, a corrente elétrica flui com dificuldade, como mostrado na **Fig.5**. A resistência elétrica destes materiais é grande.

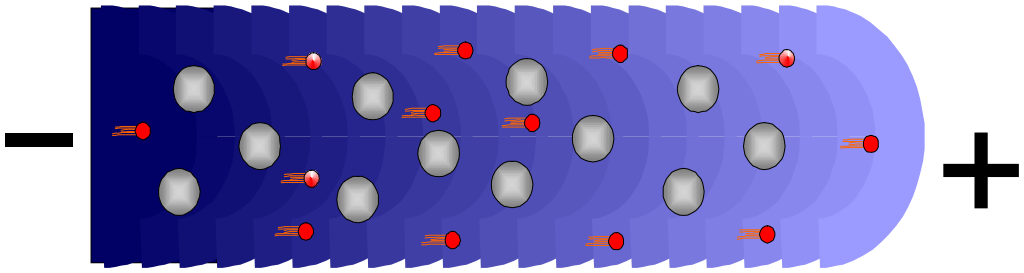


Fig.5 Movimento de cargas livres em um material de elevada resistência elétrica.

A resistência elétrica de um material depende da facilidade ou dificuldade com que este material libera cargas para a circulação.

UNIDADE DE MEDIDA DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A unidade de medida da resistência elétrica é o Ohm e é representada pelo símbolo Ω.

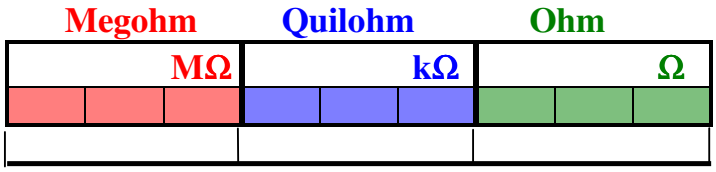
Ohm é a unidade de medida da resistência elétrica.

A unidade de medida da resistência elétrica tem múltiplos e submúltiplos. Entretanto, na prática, usam-se quase exclusivamente os múltiplos, que estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2 Múltiplos do ohm.

Denominação	Símbolo	Relação com a unidade
Megohm	MΩ	10^6Ω ou 1.000.000 Ω
Quilohm	kΩ	10^3Ω ou 1.000 Ω
Ohm	Ω	-

A conversão de valores obedece ao mesmo procedimento de outras unidades.



Posição da vírgula

Exemplos de conversão:

1) 120Ω é o mesmo que 0,12kΩ
2) 5,6kΩ é o mesmo que 5.600Ω
3) 2,7MΩ é o mesmo que 2.700kΩ
4) 390kΩ é o mesmo que 0,39MΩ
5) 470Ω é o mesmo que 0,00047MΩ
6) 680kΩ é o mesmo que 0,68MΩ

INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O instrumento destinado à medição de resistência elétrica é denominado de ohmímetro.

Raramente se encontra um instrumento que seja unicamente ohmímetro. Em geral, as medições de resistência elétrica são realizadas através de um multímetro.

APLICAÇÕES DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O efeito causado pela resistência elétrica, que pode parecer inconveniente, encontra muitas aplicações práticas em eletricidade e eletrônica. Alguns exemplos práticos de aplicação da elevada resistência de alguns materiais são:

- Aquecimento: em chuveiros e ferros de passar.
- Iluminação: lâmpadas incandescentes.

MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A resistência elétrica é medida através de um ohmímetro. Os multímetros, além de possibilitarem a medição de tensão, incorporam ainda um ohmímetro para medição de resistência elétrica, conforme ilustrado na **Fig.6.**

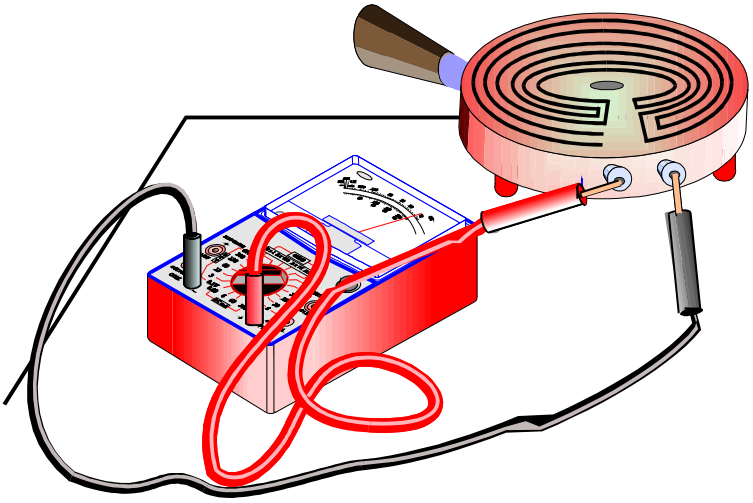


Fig.6 Exemplo de medição de resistência elétrica com um multímetro.

MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA COM O MULTÍMETRO

Os multímetros têm uma escala no painel e algumas posições da chave seletora destinadas à medição de resistência elétrica. A **Fig.7** mostra um multímetro, destacando a escala e as posições da chave seletora destinadas à medição de resistência.

PROCEDIMENTOS PARA MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA COM O MULTÍMETRO

A medição de resistência elétrica com o multímetro requer uma seqüência de procedimentos para que o valor obtido seja confiável e o instrumento não seja danificado. Esta seqüência é:

- Desconectar a resistência que será medida de qualquer fonte de energia elétrica (pilhas, bateria ou tomada elétrica).
- Selecionar a escala ou fator multiplicativo.
- Ajustar o zero do instrumento.
- Conectar o instrumento à resistência.
- Interpretar a medida.

A seguir, serão discutidos individualmente cada um dos procedimentos.

DESCONEXÃO DE RESISTÊNCIA

Devido às características internas, os ohmímetros não podem ser utilizados para medir resistências que estejam em funcionamento. Se a medição é feita em uma resistência que está em funcionamento o ohmímetro pode ser danificado.

O ohmímetro deve ser usado apenas para medir resistências que não estejam energizadas.

Para medir, por exemplo, a resistência de um ferro de passar roupas, deve-se desconectá-lo da tomada elétrica.

QUESTIONÁRIO

1. O que é corrente elétrica e qual a unidade desta grandeza ?

2. O que se entende por corrente contínua ?

3. O que é resistência elétrica e qual a sua unidade ?

Materiais condutores e isolantes

Os materiais são denominados de condutores quando permitem a passagem da corrente elétrica e de isolantes quando não permitem a passagem da corrente elétrica, conforme ilustrado na **Fig.1**.

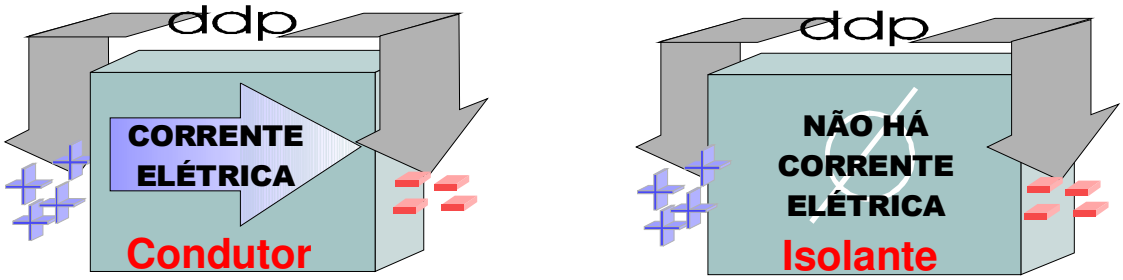


Fig.1 Efeitos da ddp em condutores e isolantes.

Os materiais condutores e isolantes são empregados em todos os dispositivos e equipamentos elétricos e eletrônicos.

MATERIAIS CONDUTORES

Os materiais condutores se caracterizam por permitir a existência de corrente elétrica toda vez que se aplica uma ddp entre seus extremos, conforme ilustrado na **Fig.2**.

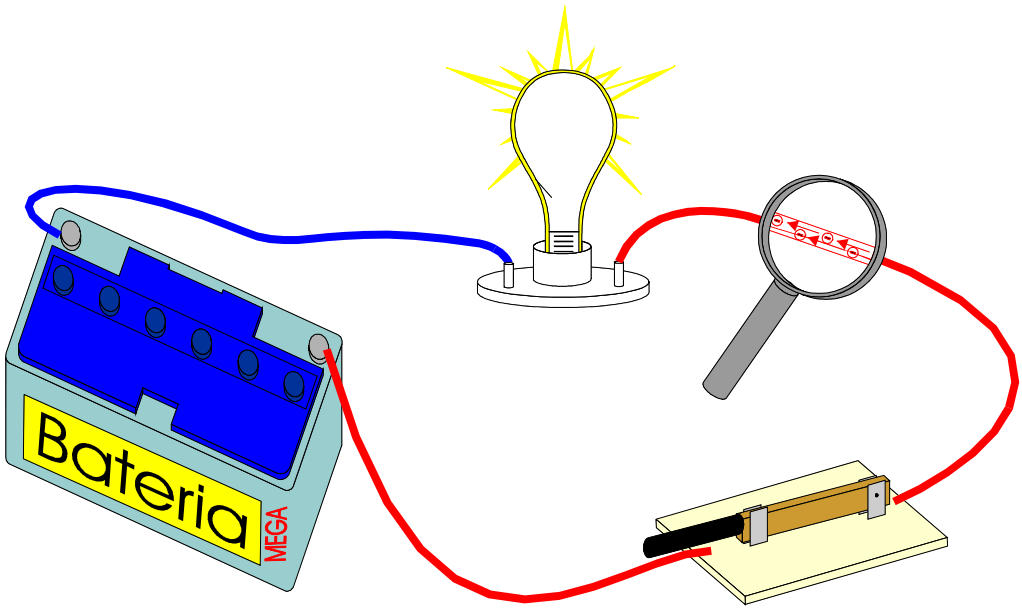


Fig.2 ddp fornecido pela bateria.

Existem materiais sólidos, líquidos e gasosos que são condutores elétricos. Entretanto, na área da eletricidade e eletrônica, os materiais sólidos são os mais importantes. Nos materiais sólidos, as cargas elétricas que se movimentam são os elétrons, como pode ser visto na **Fig.3**.

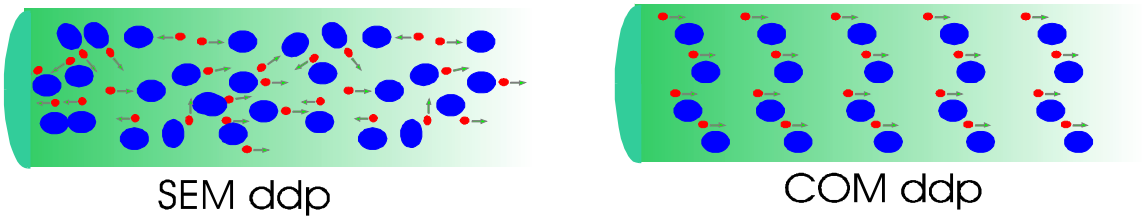


Fig.3 Movimento dos eletrons com e sem ddp.

Os elétrons que se movimentam no interior dos materiais sólidos, formando a corrente elétrica, são denominados de elétrons livres. Para que um material sólido seja condutor de eletricidade, é necessário que este material possua um grande número de elétrons livres.

Os condutores possuem um grande número de elétrons livres.

Quanto mais elétrons livres existirem em um material, melhor condutor de corrente elétrica ele será.

Os metais são os materiais que melhor conduzem a corrente elétrica porque os átomos da sua estrutura possuem um pequeno número de elétrons na camada externa (até 3 elétrons).

Esses elétrons se desprendem facilmente porque estão fracamente ligados ao número de átomos, tornando-se elétrons livres, conforme ilustrado na **Fig**.**4**.

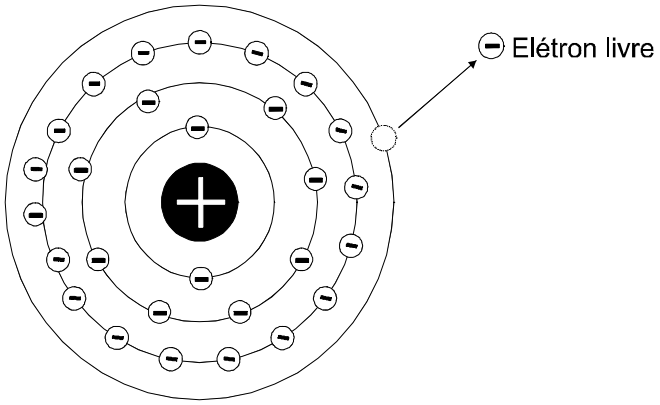


Fig.4 Fuga de um eletron.

Os átomos de cobre, que formam a estrutura atômica do "metal cobre", têm 29 elétrons, dos quais apenas 1 está na última camada. Este elétron se desprende do núcleo, vagando livre no interior do material.

A mobilidade dos elétrons da última camada energética do cobre é tal que a sua estrutura química se compõe de um grande número de núcleos fixos rodeados por elétrons livres que se movimentam intensamente de um núcleo para outro, conforme mostrado na **Fig**.**5**.

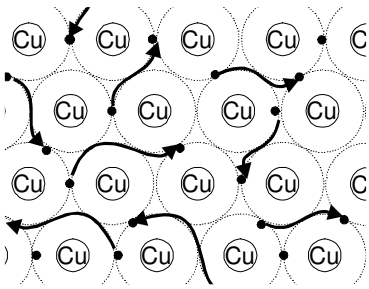


Fig.5 Estrutura do cobre.

A grande liberdade de movimentação dos elétrons no interior da estrutura química do cobre dá a este material a característica de boa condutividade elétrica.

Os materiais condutores podem ser classificados segundo a resistência que apresentam. Os melhores condutores (chamados de bons condutores) são os que apresentam menor resistência elétrica.

Bons condutores são materiais que têm baixa resistência elétrica.

A **Tabela 1** mostra a classificação de alguns materiais condutores, a partir da prata, em ordem decrescente de condutividade elétrica.

Tabela 1 Classificação de alguns materiais condutores em ordem decrescente de condutividade elétrica

Prata	*Cobre*	*Alumínio*	*Constantan*	*Níquel-cromo*

Eliminando a prata, que é um metal precioso, o cobre é o melhor condutor elétrico sendo muito utilizado para a fabricação de condutores para instalações elétricas.

MATERIAIS ISOLANTES

Os materiais classificados de isolantes são os que apresentam grande oposição à circulação de corrente elétrica no interior da sua estrutura.

A grande oposição à circulação de corrente nos materiais isolantes se deve ao fato de que a sua estrutura atômica não propicia a existência de elétrons livres.

Nos materiais isolantes, os elétrons dos átomos que compõem a estrutura química são fortemente ligados aos seus núcleos, dificilmente sendo liberados para a circulação.

Os materiais isolantes têm poucos elétrons livres.

Circuito elétrico

Circuito elétrico é um caminho fechado por onde pode circular a corrente elétrica, como mostrado na **Fig.9**.

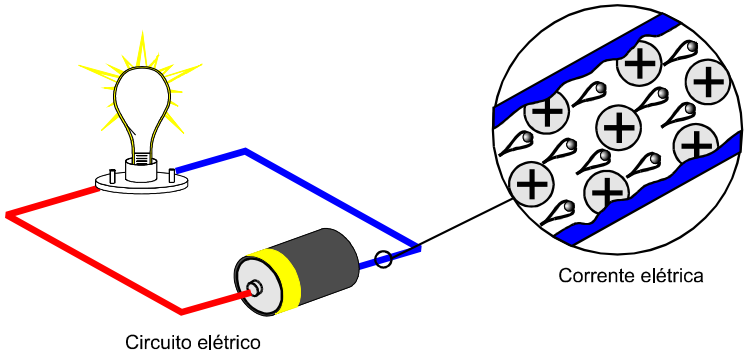


Fig.9 Exemplo de circuito elétrico.

Os circuitos elétricos podem assumir as mais diversas formas, com o objetivo de produzir os efeitos desejados, tais como: luz, som, calor e movimento.

COMPONENTES DO CIRCUITO ELÉTRICO

O circuito elétrico mais simples que se pode "realizar" é constituído de três componentes:

- Fonte geradora.
- Carga.
- Condutores.

FONTE GERADORA

Todo circuito elétrico necessita de uma fonte geradora que forneça um valor de tensão necessário para a existência de corrente elétrica.

CARGA

A carga (também denominada de “consumidor” ou “ receptor” de energia elétrica) é o componente do circuito elétrico que transforma a energia elétrica fornecida pela fonte geradora em outro tipo de energia (mecânica, luminosa, térmica etc).

As cargas são objetivo fim de um circuito. Os circuitos elétricos são constituídos visando o funcionamento da carga. São exemplos de carga :

- Lâmpada: transforma energia elétrica em luminosa (e térmica, pois também produz calor).
- Motor: transforma energia elétrica em mecânica (movimento de um eixo).
- Rádio: transforma energia elétrica em sonora.

Um circuito elétrico pode ter um ou mais consumidores.

CONDUTORES

Constituem o elo de ligação entre a fonte geradora e a carga. São utilizados como meio de transporte para a corrente elétrica.

Uma lâmpada, ligada através de condutores a uma pilha, é um exemplo característico de circuito elétrico simples, formado por três componentes, conforme ilustrado na **Fig.10**.

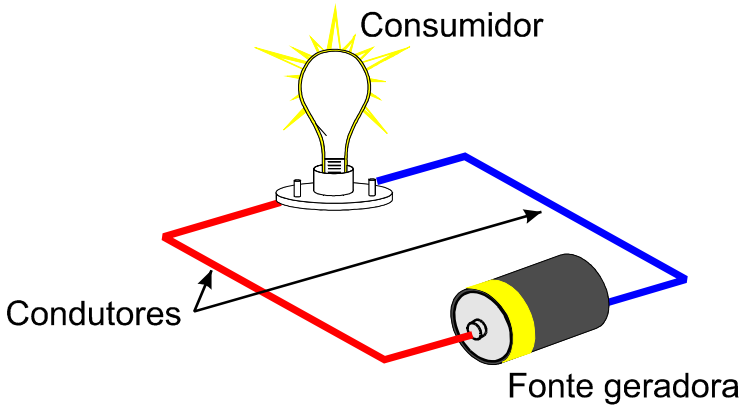


Fig.10 Circuito elétrico simples.

A lâmpada tem no seu interior uma resistência, chamada de filamento, que se torna incandescente quando percorrida por uma corrente elétrica, gerando luz.

A **Fig.11** mostra uma lâmpada incandescente, com as partes indicadas. O filamento recebe a tensão através dos terminais de ligação.

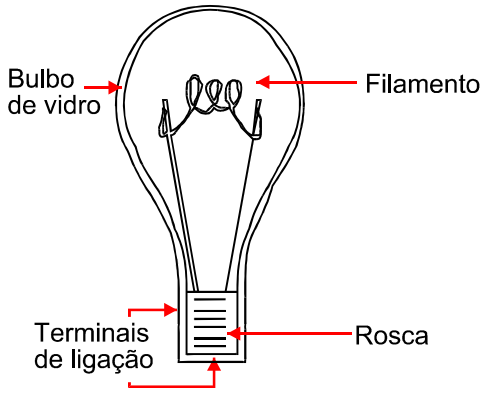


Fig.11 Elementos de uma lâmpada.

Quando a lâmpada é conectada à pilha por meio dos condutores, forma-se um circuito elétrico. Os elétrons em excesso no pólo negativo da pilha se movimentam através do condutor e do filamento da lâmpada em direção ao pólo positivo da pilha, como pode ser visto na **Fig.12**.

A **Fig.12** ilustra o movimento dos elétrons livres saindo do pólo negativo, passando pela lâmpada e dirigindo-se ao pólo positivo.

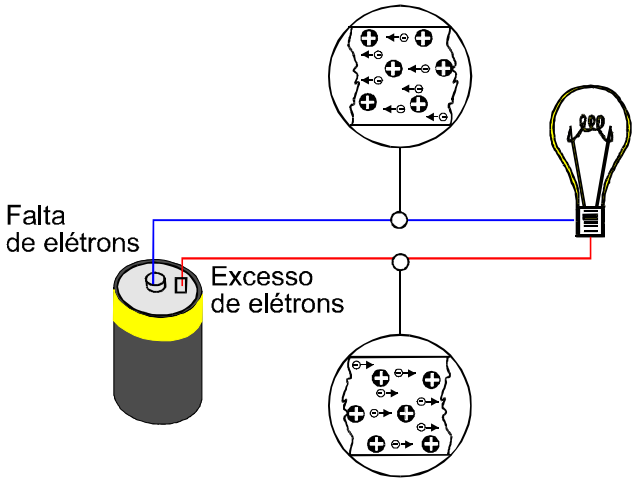


Fig.12 Movimento de elétrons em um circuito simples.

Enquanto a pilha tiver condições de manter um excesso de elétrons no pólo negativo e uma falta de elétrons no pólo positivo, haverá corrente elétrica no circuito e a lâmpada se manterá acesa.

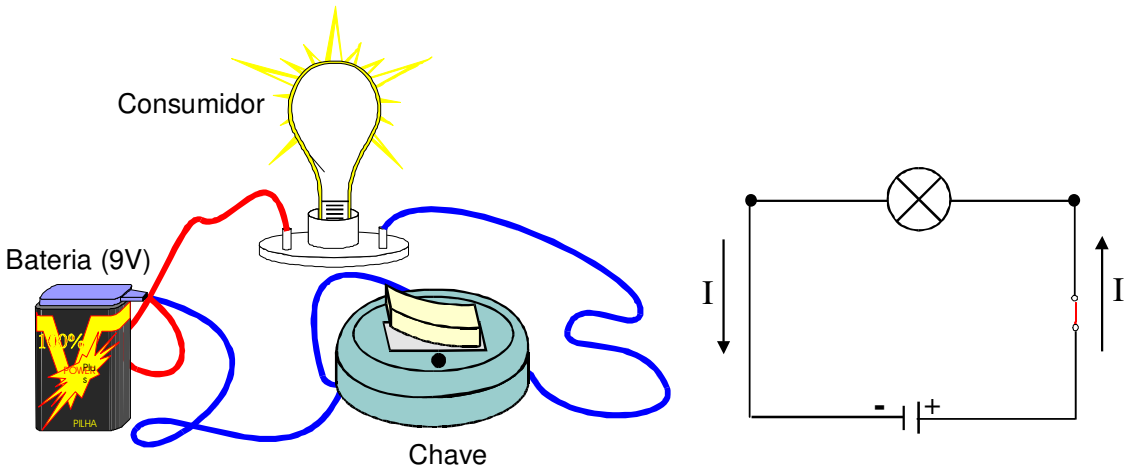


Fig.21 Representação de uma chave na condição "ligado".

O SENTIDO DA CORRENTE EM UM CIRCUITO ELÉTRICO

Antes que se compreendesse de forma mais científica a natureza do fluxo de elétrons, já se utilizava a eletricidade para a iluminação, motores e outras aplicações. Naquela época, estabeleceu-se por convenção, que a corrente elétrica se constituía de um movimento de cargas elétricas que fluía do pólo positivo para o pólo negativo da fonte geradora. Este sentido de circulação do mais (+) para o menos (-) foi denominado de **sentido convencional da corrente**.

No sentido convencional da corrente, as cargas elétricas se movimentam do pólo positivo para o pólo negativo.

Com o aprofundamento e melhoramento dos recursos científicos, verificou-se, mais tarde, que nos condutores sólidos a corrente elétrica se constituía de elétrons em movimento do pólo negativo para o pólo positivo. Este sentido de circulação foi denominado de **sentido eletrônico da corrente**.

No sentido eletrônico da corrente, as cargas elétricas se movimentam do pólo negativo para o positivo.

O sentido que se adota como referência para o estudo dos fenômenos elétricos (eletrônico ou convencional) não interfere nos resultados que se obtém, razão pela qual ainda hoje se encontram defensores para cada um dos sentidos.

Tendo em vista que toda simbologia de componentes eletrônicos foi desenvolvida a partir do **sentido convencional** da corrente elétrica (do mais para o menos), as informações relativas à Eletrônica destes fascículos utilizarão este sentido como referência.

O sentido da corrente utilizado neste material instrucional será o convencional: do positivo para o negativo.

QUESTIONÁRIO

1. O que são materiais condutores ?

2. O que são materiais isolantes ?

3. O que se entende por ruptura dielétrica ?

4. Explique o sentido convencional da corrente.

Resistores

Os resistores são componentes utilizados nos circuitos com a finalidade de limitar a corrente elétrica. A **Fig.1** mostra alguns resistores.

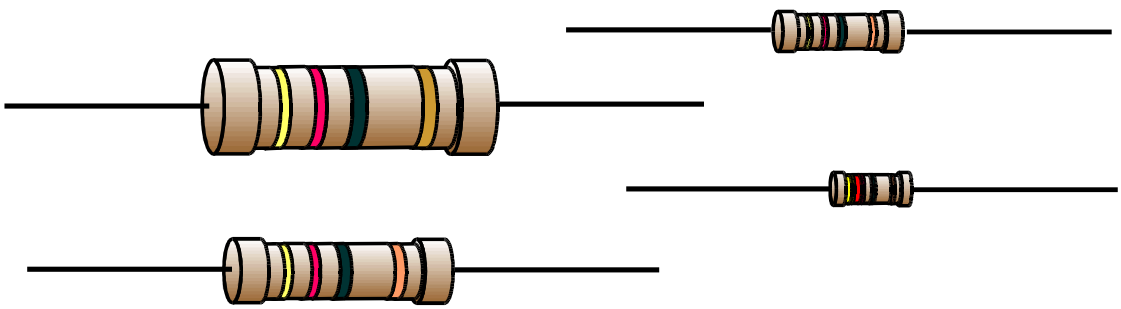


Fig.1 Resistores.

Pelo controle da corrente é possível reduzir ou dividir tensões.

CARACTERÍSTICAS DOS RESISTORES

Os resistores possuem características elétricas importantes. São elas:

- Resistência ôhmica.
- Percentual de tolerância.

RESISTÊNCIA ÔHMICA

É o valor específico de resistência do componente. Os resistores são fabricados em valores padronizados, estabelecidos por norma. Por exemplo: 120Ω, 560Ω, 1500Ω.

PERCENTUAL DE TOLERÂNCIA

Os resistores estão sujeitos a diferenças no seu valor que decorrem do processo de fabricação. Essas diferenças se situam em 5 faixas de percentual:

21% de tolerância
20% de tolerância
10% de tolerância
5% de tolerância
2% de tolerância
1% de tolerância
0,5% de tolerância
0,25% de tolerância
0,1% de tolerância

Os resistores com 20%, 10% e 5% de tolerância são considerados resistores comuns e os de 2% e 1% são resistores de precisão. Os resistores de precisão são usados apenas em circuitos onde os valores de resistência são críticos. O percentual de tolerância indica qual a variação de valor que o componente pode apresentar em relação ao valor padronizado. A diferença no valor pode ser para mais ou para menos do valor correto.

A **Tabela 1** apresenta alguns valores de resistores com o percentual de tolerância e os limites entre os quais deve situar-se o valor real do componente.

Tabela 1 Valor real de alguns resistores.

Valor nominal	Tolerância (%)	Valor real		
1.000Ω	10%	-10%	Min.	1.000 x 0,9 = 900
		+10%	Max.	1.000 x 1,1 = 1.100
560Ω	5%	-5%	Min.	560 x 0,95 = 532
		+5%	Max.	560 x 1,05 = 588
120Ω	1%	-1%	Min.	120 x 0,99 = 118,8
		+1%	Max.	120 x 1,01 = 121,2

A **Tabela 2** apresenta a padronização de valores para fabricação de resistores em tolerância de 5%.

Tabela 2 Série de valores E-24.

10	**11**	**12**	**13**	**15**	**16**	**18**	**20**	**22**	**24**	**27**	**30**
33	**36**	**39**	**43**	**47**	**51**	**56**	**62**	**68**	**75**	**82**	**91**

Encontram-se ainda resistores com os valores da **Tabela 2** multiplicados por 0,1 (por exemplo 1,1Ω), 10 (por exemplo 180Ω), 100 (por exemplo 2.700Ω), 1.000 (por exemplo 36kΩ), 10.000 (por exemplo 560kΩ) e 100.000 (por exemplo 9,1MΩ). Deste modo, os valores padronizados acrescidos das tolerâncias permitem que se obtenha qualquer valor de resistência desejada.

A **Tabela 3** mostra, por exemplo, os valores de resistores que podem ser encontrados quando se tomam apenas 3 valores consecutivos e alternados da **Tabela 2** (10, 12 e 15):

Tabela 3 Valores possíveis de resistores não padronizados.

Valor nominal	Tolerância	Valores possíveis
100Ω	10%	90Ω a 110Ω
120Ω	10%	108Ω a 132Ω
150Ω	10%	135Ω a 165Ω

SIMBOLOGIA

A **Fig.2** mostra os símbolos utilizados para representação dos resistores, sendo um deles o símbolo oficial que deve ser utilizado no Brasil, segundo a norma ABNT.

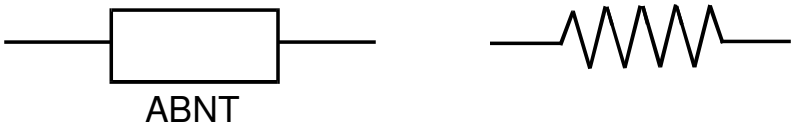


Fig.2 Símbolos utilizados para representar um resistor.

Nos diagramas, o valor do resistor aparece ao lado do símbolo ou no seu interior, como mostrado na **Fig.3**.

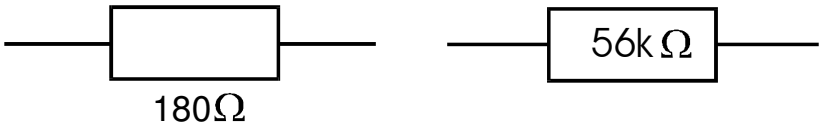


Fig.3 Indicação do valor do resistor.

TIPOS DE RESISTORES

Existem três tipos de resistores quanto à constituição:

- Resistores de filme de carbono.
- Resistores de carvão (não são mais fabricados).
- Resistores de fio.

Cada um dos tipos tem, de acordo com sua constituição, características que o tornam mais adequados que os outros tipos em sua classe de aplicação. A seguir, são apresentados os processos básicos de fabricação e a aplicação do componente.

RESISTOR DE FILME DE CARBONO (BAIXA POTÊNCIA)

O resistor de filme de carbono, também conhecido como resistor de película, é constituído por um corpo cilíndrico de cerâmica que serve de base para a fabricação do componente, conforme ilustrado na **Fig.4**.

Fig.4 Cilindro de cerâmica usado na confecção de resistores de película.

Sobre o corpo é depositada uma fina camada em espiral de material resistivo (filme de carbono) que determina o valor ôhmico do resistor, como mostrado na **Fig.5**.

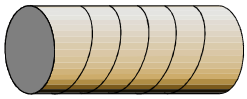


Fig.5 Filme de carbono em espiral.

Os terminais (lides de conexão) são colocados nas extremidades do corpo em contato com a camada de carbono.

Os terminais possibilitam a ligação do elemento ao circuito, conforme ilustrado na **Fig.6**.

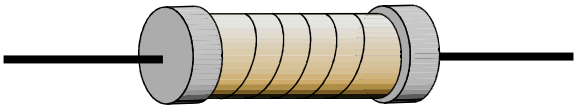


Fig.6 Fixação dos terminais do resistor.

O corpo do resistor pronto recebe um revestimento que dá acabamento na fabricação e isola o filme de carbono da ação da umidade.

A **Fig.7** mostra um resistor pronto, em corte, aparecendo a conexão dos terminais e o filme resistivo.

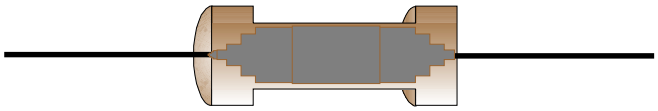


Fig.7 Representação de um resistor em corte.

As características fundamentais do resistor de filme de carbono são a precisão e a estabilidade do valor resistivo.

RESISTORES DE CARVÃO (MÉDIA POTÊNCIA)

O resistor de carvão é constituído por um corpo cilíndrico de porcelana. No interior da porcelana são comprimidas partículas de carvão que definem a resistência do componente, como mostrado na **Fig.8**.

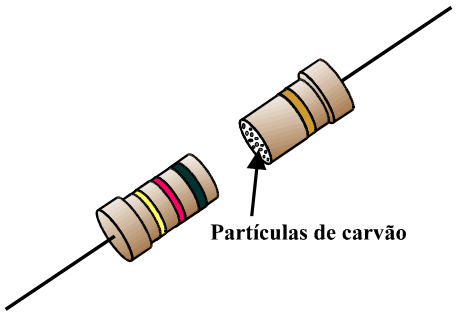


Fig.8 Resistor de carvão.

Com maior concentração de partículas de carvão, o valor resistivo do componente é reduzido. Apresentam tamanho físico reduzido e os valores de dissipação e resistência não são precisos. Podem ser usados em qualquer tipo de circuito.

RESISTORES DE FIO (MÉDIA - ALTA POTÊNCIA)

Constitui-se de um corpo de porcelana ou cerâmica que serve como base. Sobre o corpo é enrolado um fio especial (por exemplo, níquel-cromo) cujo comprimento e seção determinam o valor do resistor.

A **Fig.9** apresenta um resistor de fio em corte. Nela aparecem os terminais, o fio enrolado e a camada externa de proteção do resistor.

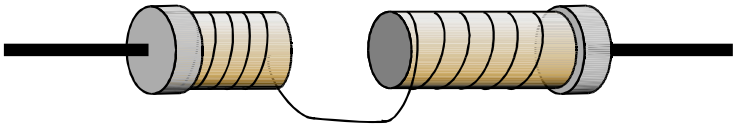


Fig.9 Resistor de fio.

O resistor de fio tem capacidade para trabalhar com maior valor de corrente. Este tipo de resistor produz normalmente uma grande quantidade de calor quando em funcionamento.

Para facilitar o resfriamento dos resistores que dissipam grandes quantidades de calor, o corpo de porcelana maciço é substituído por um tubo de porcelana, como pode ser visto na **Fig.10**.

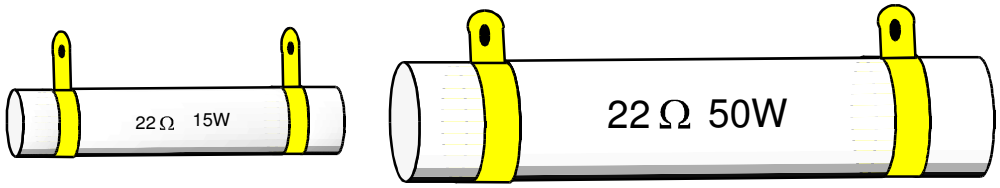


Fig.10 Resistores que dissipam muito calor.

Resistores que dissipam grande quantidade de calor são construídos sobre um tubo oco de porcelana para facilitar o resfriamento.

Código de cores para resistores

O valor ôhmico dos resistores e sua tolerância são impressos no corpo do componente através de anéis coloridos, conforme ilustrado na **Fig.11**.

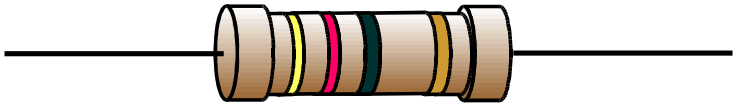


Fig.11 Anéis coloridos que indicam o valor ôhmico do resistor.

A disposição das cores em forma de anéis possibilita que o valor do componente possa ser lido de qualquer posição.

INTERPRETAÇÃO DO CÓDIGO

O código se compõe de três cores usadas para representar o valor ôhmico, e uma para representar o percentual de tolerância. Para a interpretação correta dos valores de resistência e tolerância do resistor, os anéis têm que ser lidos em uma seqüência correta.

O primeiro anel colorido a ser lido é aquele que está mais próximo da extremidade do componente. Seguem na ordem o 2.º, o 3.º e o 4.º anéis coloridos, conforme mostrado na **Fig.12**.

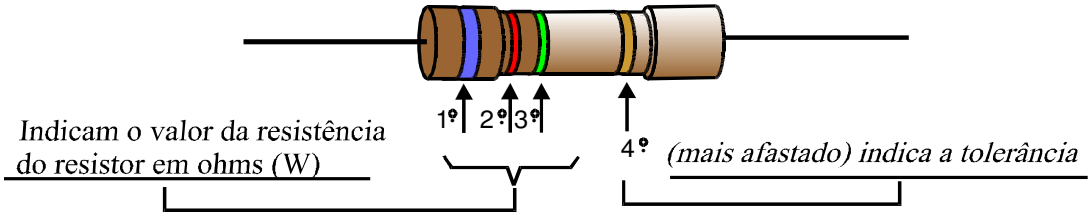


Fig.12 Posição e significado dos anéis coloridos.

Os três primeiros anéis coloridos (1.º, 2.º e 3.º) representam o valor do resistor. O 4.º anel representa o percentual de tolerância.

O primeiro anel colorido representa o primeiro número que formará o valor do resistor, como ilustrado na **Fig.13**.

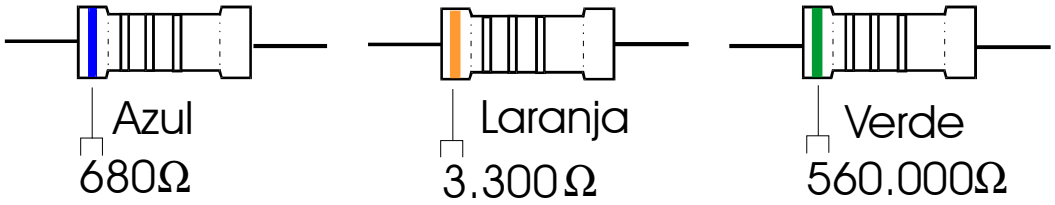


Fig.13 Primeiro anel indicando o primeiro algarismo do valor do resistor.

A cada número corresponde uma cor, como mostra a **Tabela 4**.

Tabela 4 Código de cores para resistores.

Preto	Marrom	Vermelho	Laranja	Amarelo	Verde	Azul	Violeta	Cinza	Branco
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

O segundo anel colorido representa o segundo número que forma o valor do resistor, como pode ser visto na **Fig.14**.

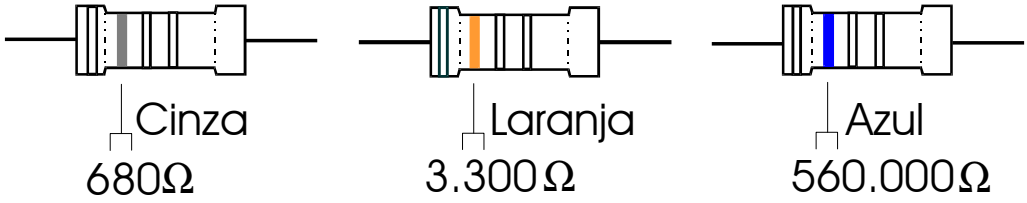


Fig.14 Segundo anel indicando o segundo algarismo do valor do resistor.

Para o segundo anel, as cores têm o mesmo significado do primeiro anel.

O terceiro anel representa o número de zeros que segue aos dois primeiros algarismos, sendo chamado de fator multiplicativo. A **Fig.15** mostra três exemplos.

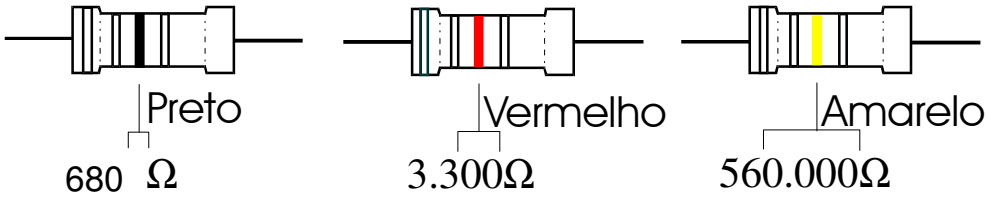


Fig.15 Terceiro anel indicando o fator multiplicador.

A cada número de zeros corresponde uma cor, como mostra a **Tabela 5**.

Tabela 5 Código de cores dos multiplicadores.

Preto	Marrom	Vermelho	Laranja	Amarelo	Verde	Azul
Nenhum zero	1 zero	2 zeros	3 zeros	4 zeros	5 zeros	6 zeros

As cores violeta, cinza e branco não são encontradas no 3.º anel por que os resistores padronizados não alcançam valores que necessitem de 7, 8 ou 9 zeros.

Os resistores usados como exemplo estão representados na **Fig.16**.

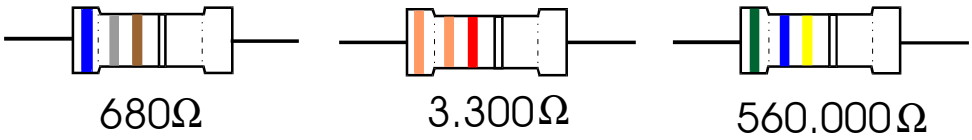


Fig.16 Resistores de 680Ω, 3.300Ω e 560.000Ω com código de cores.

O quarto anel colorido representa a tolerância do resistor. A cada percentual corresponde uma cor característica, como pode ser visto na **Tabela 6**.

Tabela 6 Código de cores relativo a tolerância.

Prateado	Dourado	Vermelho	Marrom	Verde	Azul	Violeta
± 10%	± 5%	± 2%	± 1%	± 0,5%	± 0,25%	± 0,1%

A ausência do quarto anel indica a tolerância de 20%.

Acrescendo-se uma tolerância de 10% aos valores dos resistores usados, temos como exemplo :

680Ω ± 10% Azul (6), cinza (8), marrom (1), prateado (± 10%)
3.300Ω ± 10% Laranja (3), laranja (3), vermelho (2), prateado (± 10%)
560.000Ω ± 10% Verde (5), azul (6), amarelo (4), prateado (± 10%)

RESISTORES DE 1Ω A 10Ω

Para representar resistores maiores ou igual a 1 e menor que 10Ω, o código de cores estabelece o uso da cor **dourado** no 3° anel. O dourado neste anel indica a existência da vírgula entre os dois primeiros números.

Seguem alguns exemplos:

1,8Ω ± 5%	Marrom (1), cinza (8), dourado, dourado (± 5%)
4,7Ω ± 10%	Amarelo (4), violeta (7), dourado, prateado (±10%)
8,2Ω ± 20%	Cinza (8), vermelho (2), dourado, sem cor (±20%)

RESISTORES ABAIXO DE 1Ω

Para representar resistores abaixo de 1Ω, o código de cores determina o uso do **prateado** no 3° anel. O prateado neste anel significa a existência de 0 antes dos dois primeiros números.

Seguem alguns exemplos:

0,39Ω ± 20%	Laranja (3), branco (9), prateado, sem cor (±20%)
0,15Ω ± 10%	Marrom (1), verde (5), prateado, prateado (±10%)

A **Tabela 7** a seguir apresenta o código de cores completo.

Tabela 7 Código de cores completo para resistores.

Cor	Dígitos significativos	Multiplicador	Tolerância
Preto	0	1	
Marrom	1	10	
Vermelho	2	100	
Laranja	3	1.000	
Amarelo	4	10.000	
Verde	5	100.000	
Azul	6	1.000.000	
Violeta	7	10.000.000	
Cinza	8	–	
Branco	9	–	
Ouro		0,1	±5%
Prata		0,01	± 10%
Sem cor			± 20%

RESISTORES DE 5 ANÉIS

Em algumas aplicações são necessários resistores com valores mais precisos que se situam entre os valores padronizados.

Estes resistores tem o seu valor impresso no corpo através de cinco anéis coloridos, conforme ilustrado na **Fig.17**.

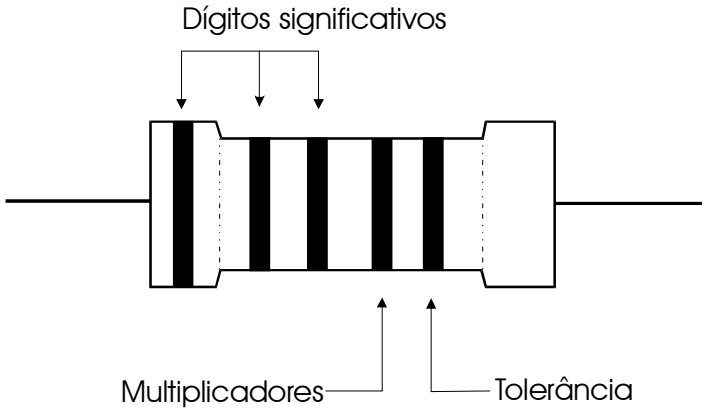


Fig.17 Resistor com cinco anéis.

Nestes resistores, os três primeiros anéis são dígitos significativos, o quarto anel representa o número de zeros (fator multiplicativo) e o quinto anel é a tolerância. A **Tabela 8** mostra o código de cores para estes tipos de resitores.

Tabela 8 Código de cores para resistores de cinco anéis.

Cor	Dígitos significativos	Multiplicador	Tolerância
Preto	0	1	
Marrom	1	10	± 1%
Vermelho	2	100	± 2%
Laranja	3	1.000	
Amarelo	4	10.000	
Verde	5	100.000	
Azul	6	1.000.000	
Violeta	7	–	
Cinza	8	–	
Branco	9	–	
Ouro		0,1	
Prata		0,01	

QUESTIONÁRIO

1. Quais as faixas percentuais de tolerância dos resistores ?

2. Quais os tipos principais de resistores ?

3. Como deve ser interpretado o código de cores dos resistores ?

Associação de resistores

A associação de resistores é uma reunião de dois ou mais resistores em um circuito elétrico, como pode ser visto no exemplo da **Fig.1**.

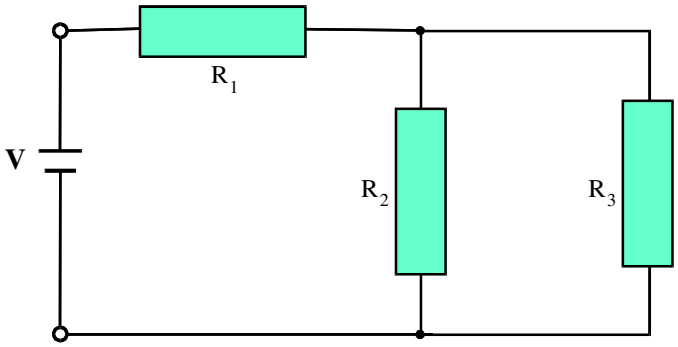


Fig.1 Exemplo da associação de três resistores.

As associações de resistores são utilizadas na maioria dos circuitos elétricos e eletrônicos.

TIPOS DE ASSOCIAÇÕES DE RESISTORES

Os resistores podem ser associados originando circuitos das mais diversas formas. A **Fig.2** mostra alguns tipos de associação de resistores.

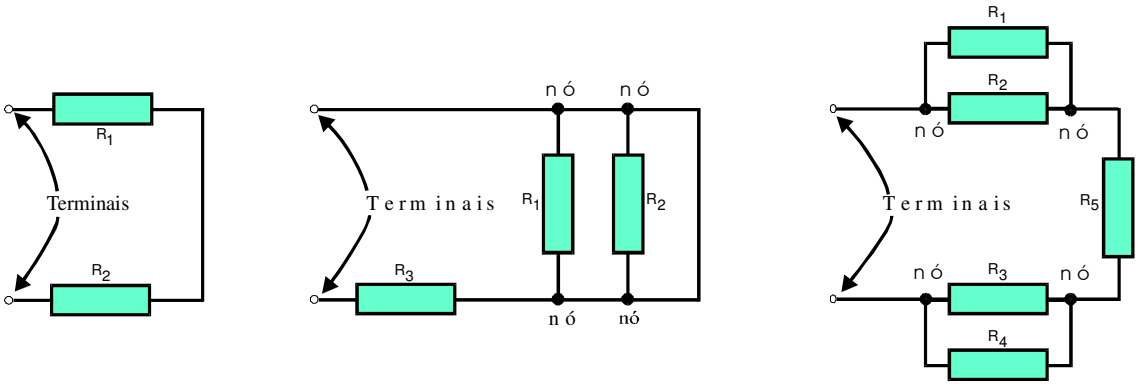


Fig.2 Tipos de associação de resistores.

Como pode ser visto nesta figura, os pontos da associação que são conectados à fonte geradora são denominados de **terminais** e os pontos onde existe a interligação entre dois ou mais resistores são denominados de **nós.**

Apesar do ilimitado número de associações diferentes que se pode obter interligando resistores em um circuito elétrico, todas essas associações podem ser classificadas segundo três designações básicas. São elas:

- Associação série.
- Associação pararela.
- Associação mista.

Cada um dos tipos de associação apresenta características específicas de comportamento elétrico.

ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE RESISTORES

Uma associação de resistores é denominada de associação série, quando os resistores que a compõem estão interligados de forma que exista apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica entre seus terminais.

Na associação série existe apenas um caminho para circulação da corrente elétrica entre os terminais.

A **Fig.3** mostra dois exemplos de associação série de resistores.

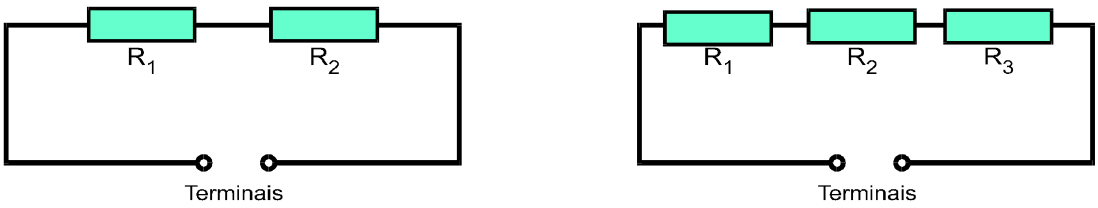


Fig.3 Dois exemplos de associação série de resistores.

Conectando-se uma fonte geradora aos terminais das associações série apresentadas nesta figura, verifica-se que existe realmente apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica, conforme ilustrado na **Fig4**.

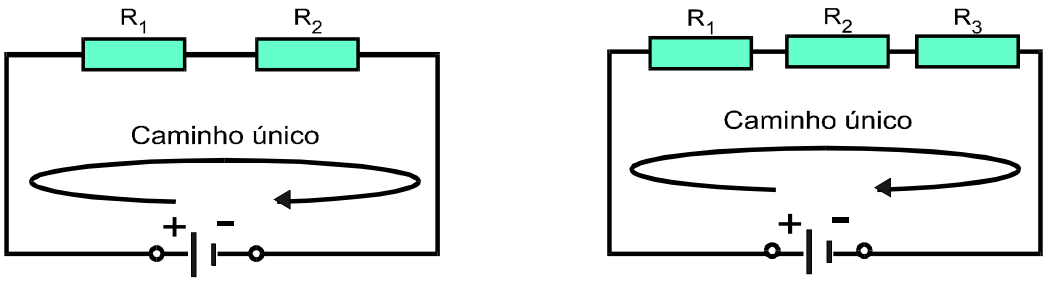


Fig.4 Caminho da corrente em uma associação série de resistores.

ASSOCIAÇÃO PARALELA DE RESISTORES

Uma associação de resistores é denominada **paralela** quando os resistores que a compõem estão interligados de forma que exista mais de um caminho para a circulação da corrente elétrica entre seus terminais.

Na associação paralela existe mais de um caminho para a circulação da corrente elétrica.

A **Fig.5** mostra dois exemplos de associação paralela de resistores.

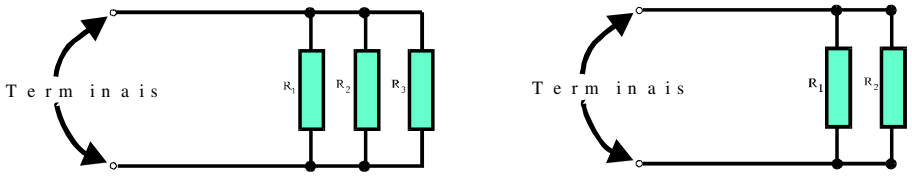


Fig.5 Dois exemplos de associação paralela de resistores.

Conectando-se uma fonte geradora aos terminais das associações paralelas apresentadas nesta figura, verifica-se que existe sempre mais de um caminho para a circulação da corrente elétrica, como pode ser visto na **Fig.6**.

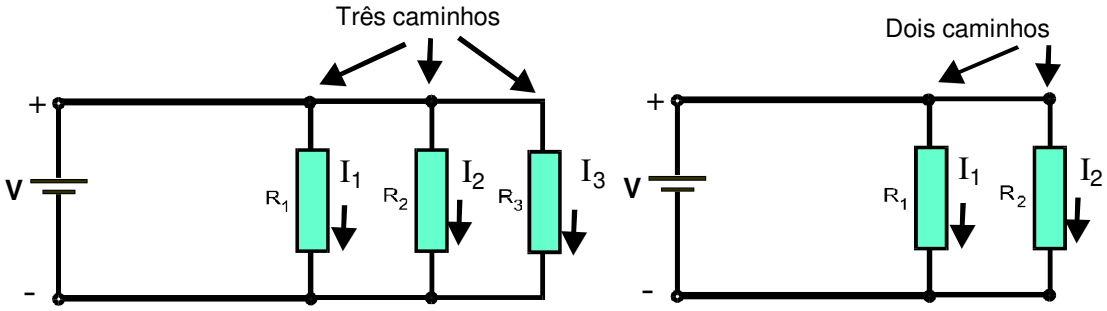


Fig.6 Caminhos da corrente em uma associação paralela de resistores.

ASSOCIAÇÃO MISTA DE RESISTORES

Uma associação de resistores é denominada de **mista** quando for composta por grupos de resistores em série e em paralelo. A **Fig.7** mostra alguns exemplos de associação mista de resistores.

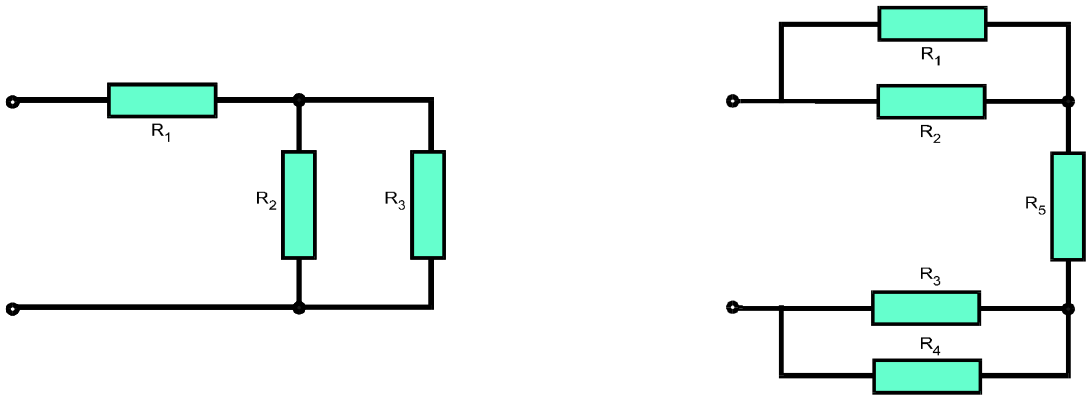


Fig.7 Exemplos de associação mista de resistores.

RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DE UMA ASSOCIAÇÃO

Quando se associam resistores, a resistência elétrica entre terminais é diferente das resistências individuais. Por esta razão, a resistência de uma associação de resistores recebe uma denominação específica: **resistência total** ou **resistência equivalente**.

QUESTIONÁRIO

1. Em uma associação série de resistores, existem quantos caminhos para a circulacão da corrente elétrica entre os terminais ? E em uma associação paralela ?

2. O valor da resistência equivalente de uma associação de resistores em paralelo é sempre maior ou menor que o resistor de menor valor ?

Lei de Ohm

A Lei de Ohm estabelece uma relação entre as grandezas elétricas tensão, corrente e resistência em um circuito.

A Lei de Ohm é a lei básica da eletricidade e da eletrônica. Seu conhecimento é fundamental para o estudo e compreensão dos circuitos elétricos.

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA LEI DE OHM

A Lei de Ohm pode ser obtida a partir de medições de tensão, corrente e resistência realizadas em circuitos elétricos simples, compostos por uma fonte geradora e um resistor. Montando-se um circuito elétrico composto por uma fonte geradora de 9V e um resistor de 100Ω, verifica-se que a corrente circulante é de 90mA, como ilustrado na **Fig.1**.

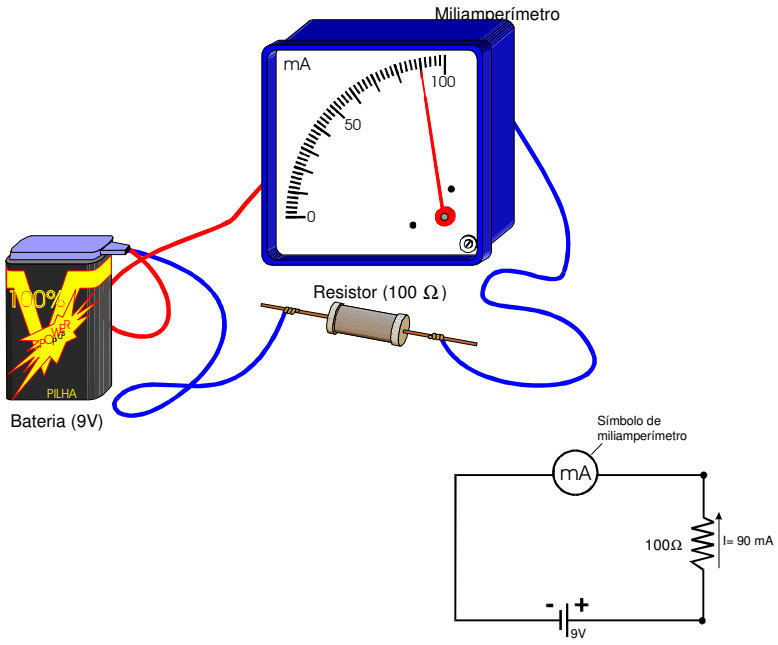


Fig.1 Carga de 100Ω alimentada por uma bateria de 9V.

Substituindo-se o resistor de 100Ω por outro de 200Ω, a resistência do circuito torna-se maior. O circuito impõe maior oposição à passagem da corrente, fazendo com que a corrente circulante seja menor, como pode ser visto na **Fig.2**.

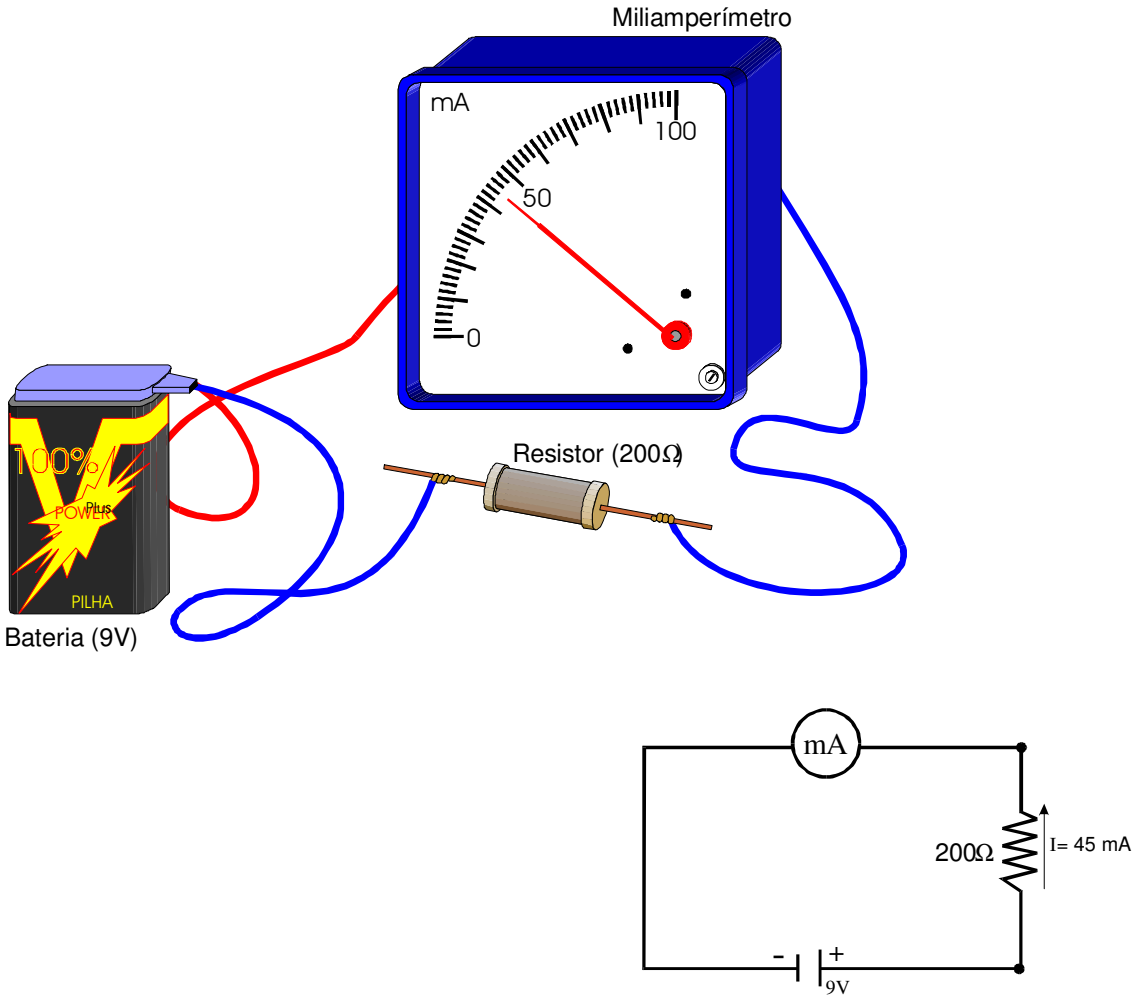


Fig.2 Carga de 200Ω alimentada por uma bateria de 9V.

Aumentando-se sucessivamente o valor do resistor, a oposição à passagem da corrente é cada vez maior e a corrente, cada vez menor, conforme mostrado nas **Figs.3 e 4**.

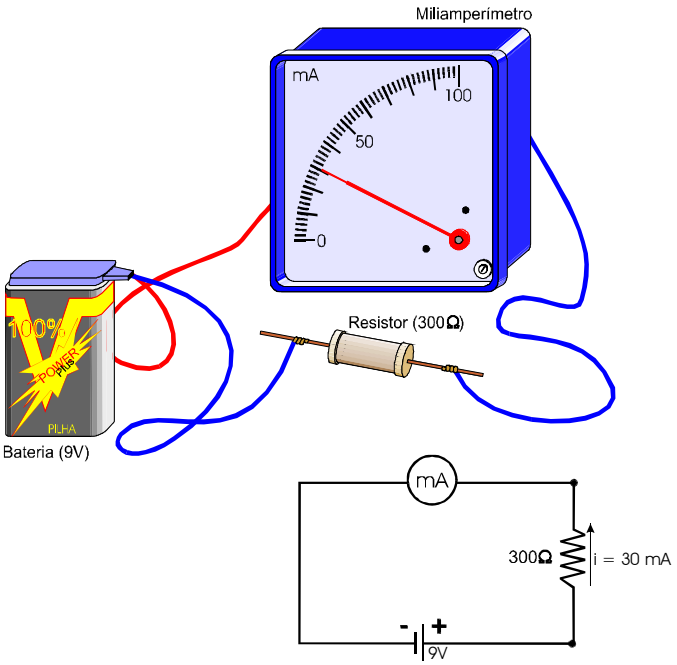


Fig.3 Carga de 300Ω alimentada por uma bateria de 9V.

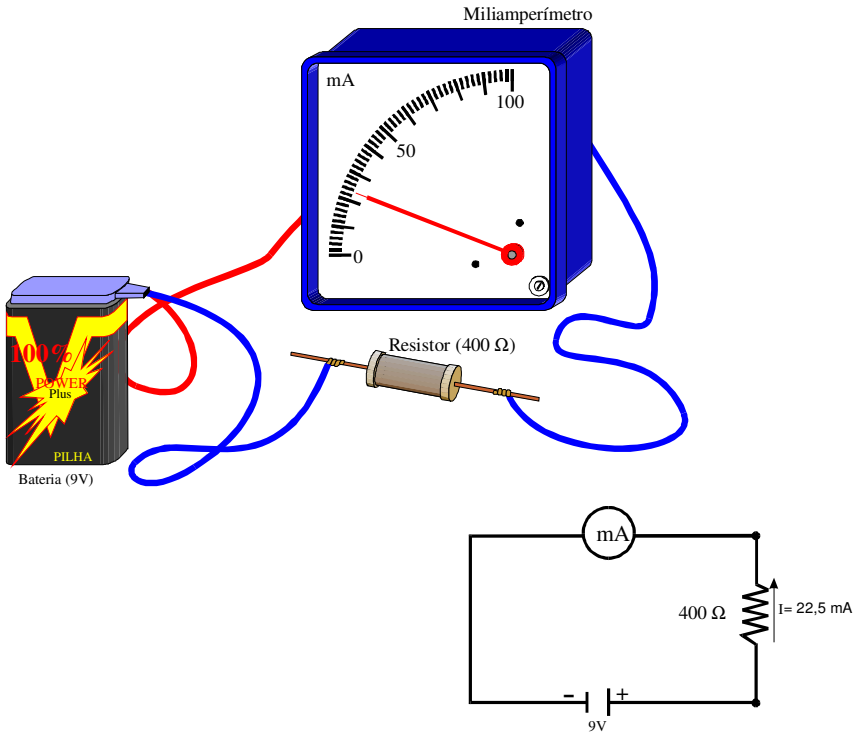


Fig.4 Carga de 400Ω alimentada por uma bateria de 9V.

A **Tabela 1** mostra os valores obtidos nas diversas situações descritas anteriormente.

Tabela 1 Valores de tensão e corrente para diversas cargas.

Situação	Tensão (V)	Resistência (R)	Corrente (I)
1	9V	100Ω	90mA
2	9V	200Ω	45mA
3	9V	300Ω	30mA
4	9V	400Ω	22,5mA

Observando-se a tabela de valores, verifica-se que :

a) Mantida a mesma tensão, a corrente em um circuito diminui quando a resistência do circuito aumenta.

b) Dividindo-se o valor de tensão aplicada pela resistência do circuito, obtém-se o valor da intensidade de corrente.

O valor de corrente que circula em um circuito pode ser encontrada dividindo-se o valor de tensão aplicada pela sua resistência.

Transformando em equação matemática esta afirmação, tem-se:

$$I = \frac{V}{R} \qquad (1)$$

Esta equação é conhecida como equação matemática da Lei de Ohm.

A intensidade da corrente elétrica em um circuito é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional a sua resistência.

APLICAÇÃO DA LEI DE OHM

A Lei de Ohm pode ser utilizada para se determinarem os valores de tensão (V), corrente (I) ou resistência R em um circuito.

Sempre que se conhecem dois valores em um circuito (V e I, V e R ou R e I), o terceiro valor desconhecido pode ser determinado pela Lei de Ohm.

Para tornar mais simples o uso da equação da Lei de Ohm, costuma-se usar o **triângulo** mostrado na **Fig.5.**

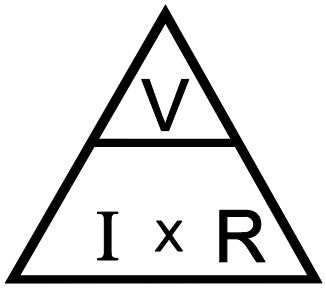


Fig.5 Triângulo da Lei de Ohm.

Quando se deseja determinar a intensidade da corrente (I) que flui em um circuito, coloca-se o dedo sobre a letra I do triângulo, como ilustrado na **Fig.6**.

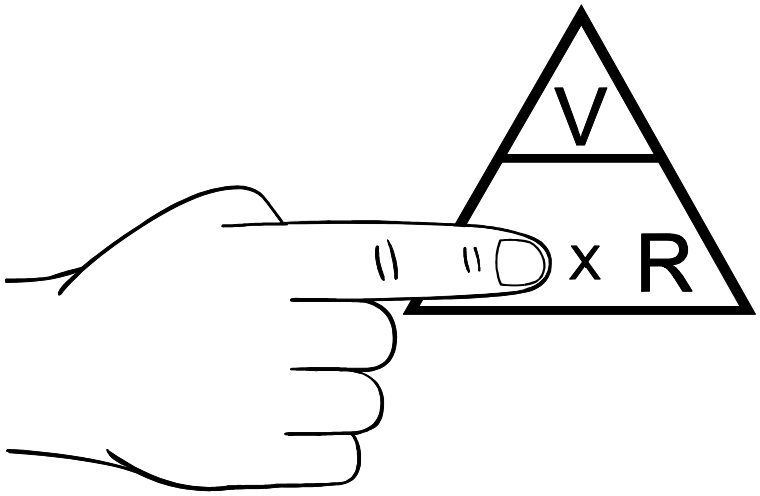


Fig.6 Determinação da intensidade de corrente.

Com a letra I (corrente) coberta, o triângulo fornece a equação que deve ser usada para calcular a corrente do circuito.

$$I = \frac{V}{R}$$

Quando for necessário determinar a resistência R de um circuito, deve-se cobrir a letra R do triângulo e a equação necessária será encontrada, como pode ser visto na **Fig.7**.

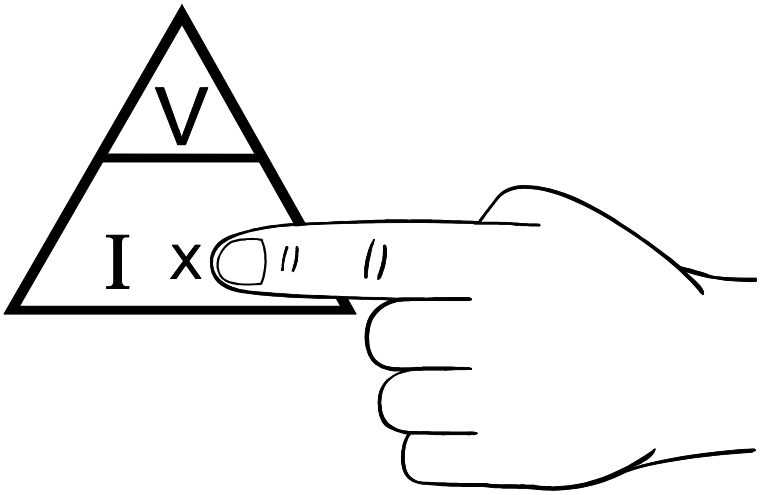


Fig. 7 Determinação da resistência.

Da mesma forma, pode-se determinar a tensão aplicada em um circuito quando se conhece a corrente e a resistência, como ilustra a **Fig.8**.

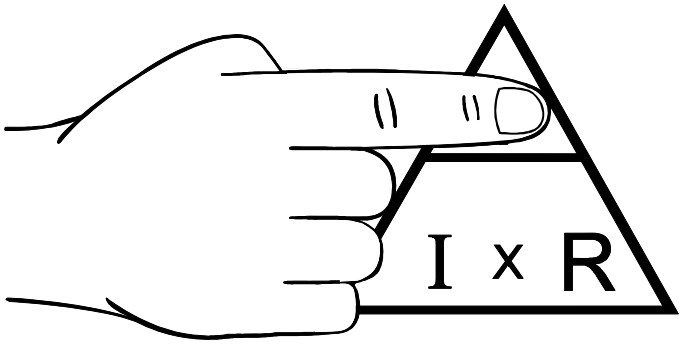


Fig.8 Determinação da tensão.

Para que as equações decorrentes da Lei de Ohm sejam utilizadas, as grandezas elétricas devem ter seus valores expressos nas unidades fundamentais: Volt, Ampère e Ohm. Quando os valores de um circuito estiverem expressos em múltiplos ou submúltiplos das unidades, devem ser convertidos para as unidades fundamentais antes de serem usados nas equações.

Exemplo 1:

Uma lâmpada utiliza uma alimentação de 6V e tem 36Ω de resistência. Qual a corrente que circula pela lâmpada quando ligada?

Solução :

Como os valores de V e R já estão nas unidades fundamentais (Volt e Ohm), aplicam-se os valores na equação:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6}{36} = 0{,}166\text{A}$$

O resultado é dado também na unidade fundamental de intensidade de corrente. A resposta indica que circulam 0,166A ou 166mA quando a lanterna é ligada.

A **Fig.9** mostra o miliamperímetro com a indicação do valor consumido pela lâmpada.

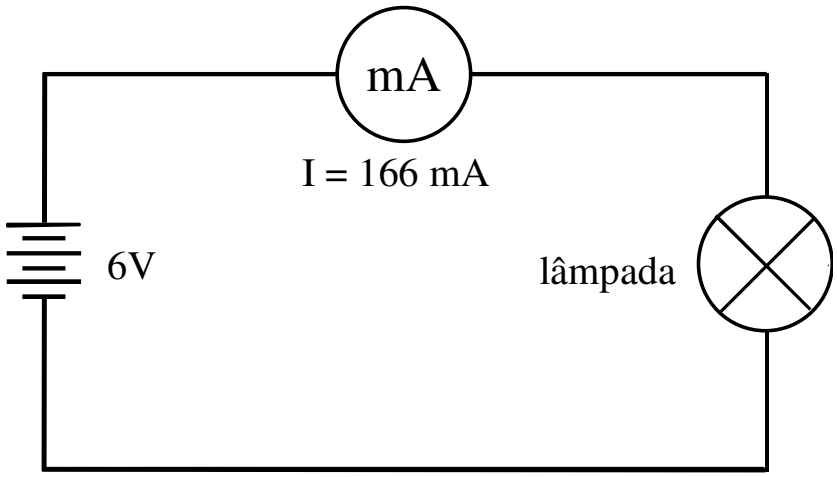


Fig.9 Indicação da corrente na lâmpada.

Exemplo 2:

O motor de um carrinho de autorama atinge rotação máxima quando recebe 9V da fonte de alimentação. Nesta situação, a corrente do motor é de 230mA. Qual é a resistência do motor?

Solução :

$$R = \frac{V}{I} = \frac{9}{0{,}23} = 39{,}1\Omega$$

Exemplo 3:

Um resistor de 22kΩ foi conectado a uma fonte cuja tensão de saída é desconhecida. Um miliamperímetro colocado em série no circuito indicou uma corrente de 0,75mA. Qual a tensão na saída da fonte?

Solução :

$$V = R \text{ x } I = 22000 \text{ x } 0{,}00075 = 16{,}5\text{V}$$

QUESTIONÁRIO

1. Como se obtém o valor da corrente que circula em um circuito ?

2. Que instrumentos medem a corrente CC em um circuito ?

Primeira Lei de Kirchhoff

A primeira Lei de Kirchhoff refere-se à forma como a corrente se distribui nos circuitos paralelos, como mostrado na **Fig.1**.

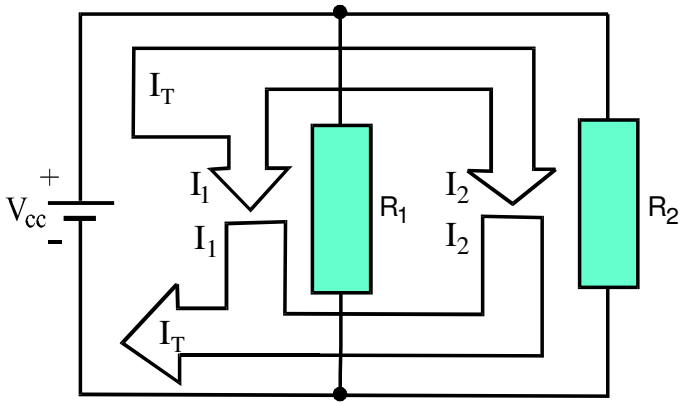


Fig.1 Distribuição da corrente em um circuito paralelo.

Através da primeira Lei de Kirchhoff e da Lei de Ohm, pode-se determinar a corrente em cada um dos componentes associados em paralelo.

O conhecimento e compreensão da primeira Lei de Kirchhoff é indispensável para a manutenção e projeto de circuitos eletrônicos.

CARACTERÍSTICAS DO CIRCUITO PARALELO

Os circuitos paralelos apresentam algumas características particulares, cujo conhecimento é indispensável para a compreensão da primeira Lei de Kirchhoff. Essas características podem ser analisadas, tomando-se como ponto de partida o circuito da **Fig.2.**

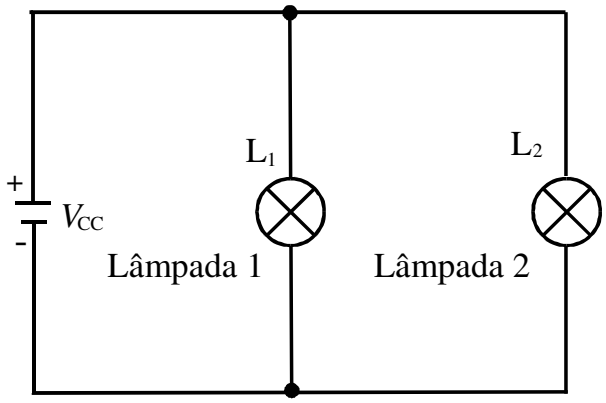


Fig.2 Exemplo de circuito paralelo.

Observando-se o circuito, verifica-se que tanto a lâmpada 1 como a lâmpada 2 têm um dos terminais ligado diretamente ao pólo positivo da fonte de alimentação e o outro ligado ao pólo negativo.

Ligadas dessa forma, cada uma das lâmpadas (L_1 e L_2) está diretamente conectada à fonte de alimentação recebendo a mesma tensão nos seus terminais, como mostrado na **Fig**.**3**.

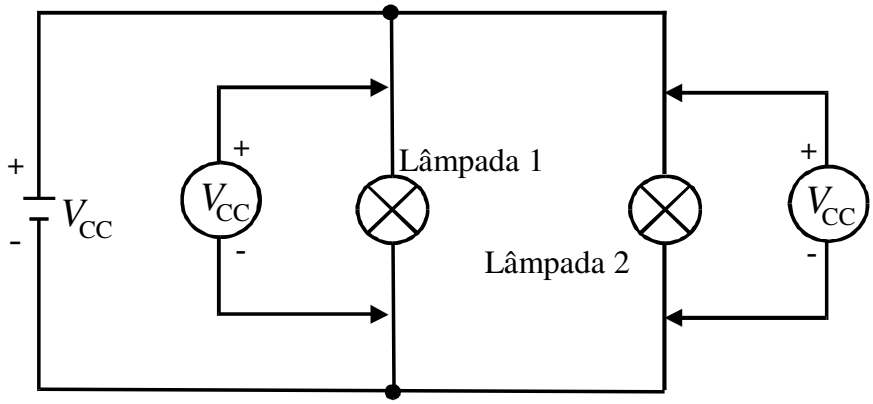


Fig.3 Cada lâmpada submetida à mesma tensão V_{cc} .

Em um circuito paralelo, a tensão sobre os componentes associados é a mesma.

A função da fonte de alimentação nos circuitos é fornecer a corrente elétrica necessária para o funcionamento dos consumidores.

Quando um circuito possui apenas uma fonte de alimentação, a corrente fornecida por esta fonte é denominada de **corrente total**, representada pela notação I_T nos esquemas, como mostrado na **Fig.4**.

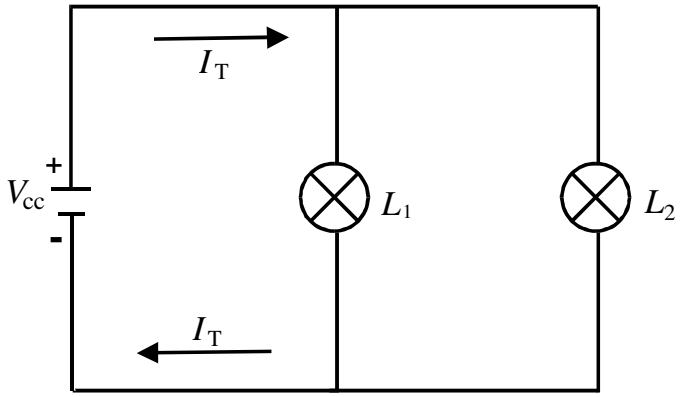


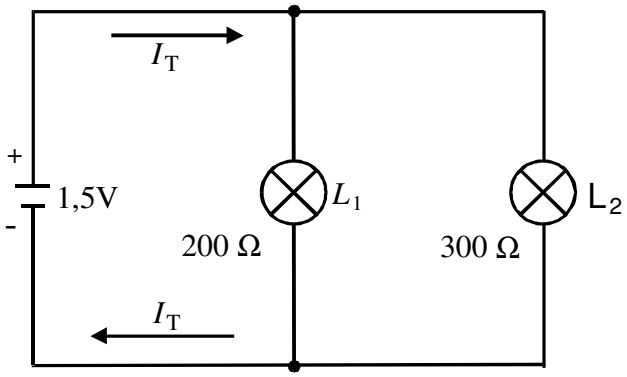
Fig.4 Ilustração de corrente total em um circuito paralelo.

Para a fonte de alimentação, não é importante se os consumidores são lâmpadas, resistores ou aquecedores. A corrente que a fonte fornece (I_T) depende apenas, segundo a Lei de Ohm, da sua tensão (V_T) e da resistência total (R_T) que os consumidores apresentam, ou seja :

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} \qquad (1)$$

Exemplo 1:

Determinar a corrente total no circuito da figura abaixo.



Solução :

$$R_T = \frac{R_{L_1} \times R_{L_2}}{R_{L_1} + R_{L_2}} = \frac{200 \times 300}{200 + 300} = 120\Omega$$

Portanto, a corrente total é:

$$I_T = \frac{V}{R_T} = \frac{1{,}5}{120} = 0{,}0125\text{A}$$

Esse valor de corrente circula em toda a parte do circuito que é comum às duas lâmpadas.

A partir do nó (no terminal positivo da pilha) a corrente total I_T divide-se em duas partes, conforme ilustrado na **Fig.5**.

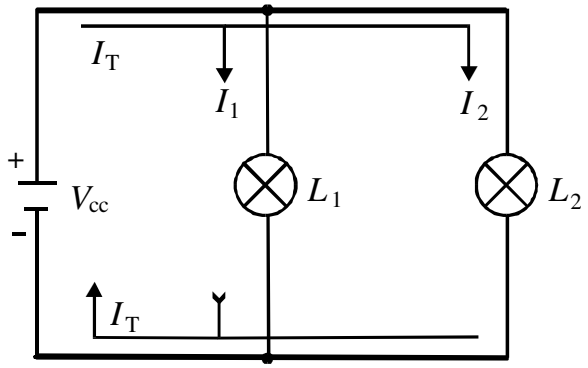


Fig.5 Divisão da corrente total em correntes parciais.

Essas correntes são chamadas de **correntes parciais** e podem ser denominadas de I_1 (para a lâmpada L_1) e I_2 (para a lâmpada L_2).

A forma como a corrente I_T se divide a partir do nó depende unicamente das resistências das lâmpadas. A lâmpada de menor resistência permitirá a passagem de uma maior parcela da corrente.

Pode-se afirmar que a corrente I_1 na lâmpada L_1 (de menor resistência) será maior que a corrente I_2 na lâmpada L_2 , como pode ser visto na **Fig.6**.

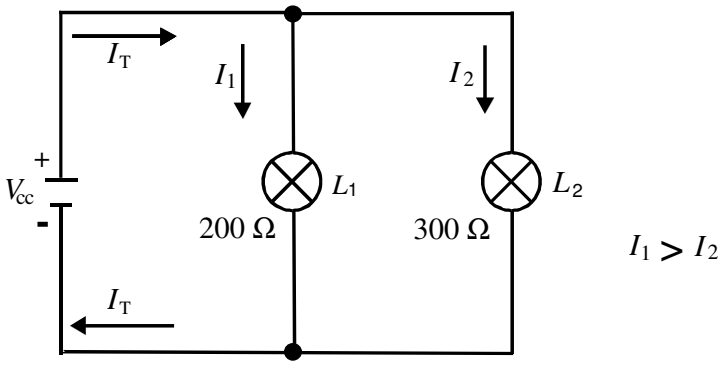
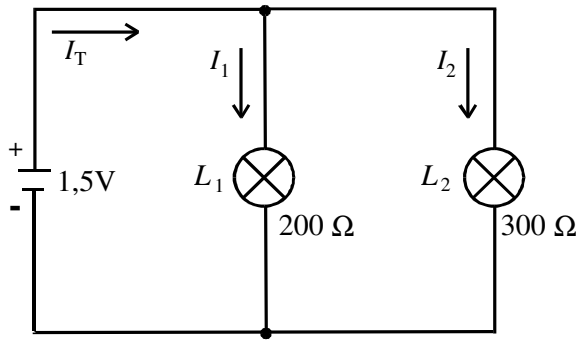


Fig.6 Divisão da corrente total através das lâmpadas.

O valor da corrente que circula em cada ramal pode ser calculada através da Lei de Ohm, uma vez que se conhece a tensão aplicada e a resistência de cada lâmpada.

Exemplo 2:

Determinar o valor da corrente que circula em cada lâmpada e a corrente total do circuito da figura abaixo.



Solução :

Lâmpada 1

$$I_1 = \frac{V_{L_1}}{R_{L_1}} = \frac{1{,}5}{200} = 0{,}0075 \text{ A} \qquad I_1 = 7{,}5 \text{ mA}$$

Lâmpada 2

$$I_2 = \frac{V_{L_2}}{R_{L_2}} = \frac{1{,}5}{300} = 0{,}005 \text{ A} \qquad I_2 = 5 \text{ mA}$$

Observando-se os valores das correntes no nó, verifica-se que as correntes que saem, somadas, originam um valor igual ao da corrente que entra.

Essa afirmativa é válida para qualquer nó de um circuito elétrico, sendo conhecida como a primeira Lei de Kirchhoff.

Primeira Lei de Kirchhoff : A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das que dele saem.

A primeira Lei de Kirchhoff é muito útil para se determinar um valor desconhecido de corrente quando se dispõe dos demais valores de corrente que chegam ou saem de um nó.

De modo resumido, pode-se então afirmar que o circuito paralelo apresenta duas características fundamentais:

- Fornece mais de um caminho para a circulação da corrente elétrica.
- A tensão em todos os componentes associados é a mesma.

Segunda Lei de Kirchhoff

A segunda Lei de Kirchhoff se refere à forma como a tensão se distribui nos circuitos série, como por exemplo, o mostrado na **Fig.7**.

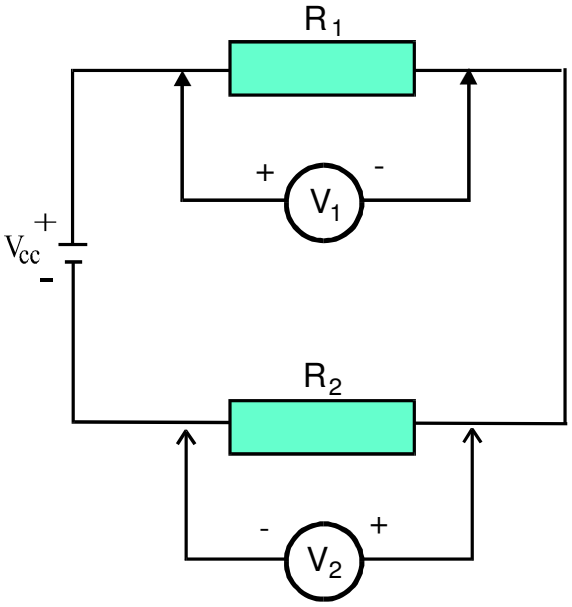


Fig.7 Distribuição da tensão em um circuito série.

O conhecimento e compreensão da segunda Lei de Kirchhoff é importante porque é aplicada a todos os circuitos com componentes associados em série.

CARACTERÍSTICAS DOS CIRCUITOS SÉRIE

Os circuitos série têm características particulares cujo conhecimento é indispensável para a compreensão da segunda Lei de Kirchhoff.

Tomando como referência um circuito simples, com duas cargas ligadas em série, essas características podem ser identificadas. A **Fig.8** mostra esse circuito.

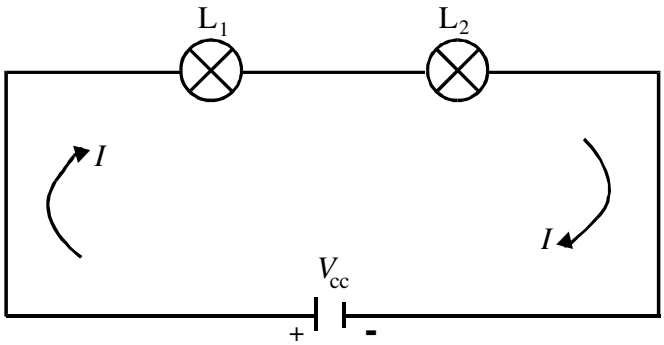


Fig.8 Exemplo de circuito série.

O circuito série se caracteriza por possibilitar um caminho único para a circulação da corrente elétrica.

Como existe um único caminho, a mesma corrente que sai do pólo positivo da fonte passa através da lâmpada L_1 , da lâmpada L_2 e retorna à fonte pelo pólo negativo.

Isto significa que um medidor de corrente (amperímetro), pode ser colocado em qualquer parte do circuito. Em qualquer uma das posições, o valor indicado pelo instrumento será o mesmo, como indicado na **Fig.9**.

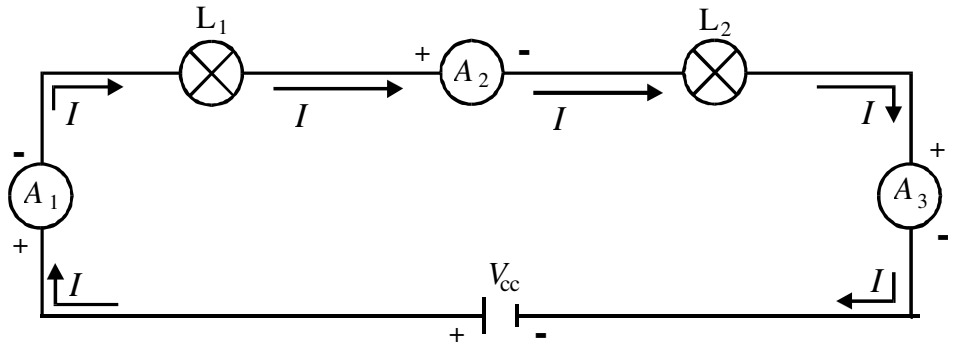


Fig.9 Medição de corrente em um circuito série.

A intensidade da corrente é a mesma ao longo de todo o circuito série.

Por essa razão, a corrente que circula em um circuito série é designada simplesmente pela notação I.

A forma de ligação das cargas, uma após a outra, dá ao circuito outra característica importante, como pode ser visto na **Fig.10**. Caso uma das lâmpadas (ou qualquer outro tipo de carga) seja retirada do circuito, ou tenha o seu filamento rompido, o circuito elétrico fica aberto e a corrente cessa.

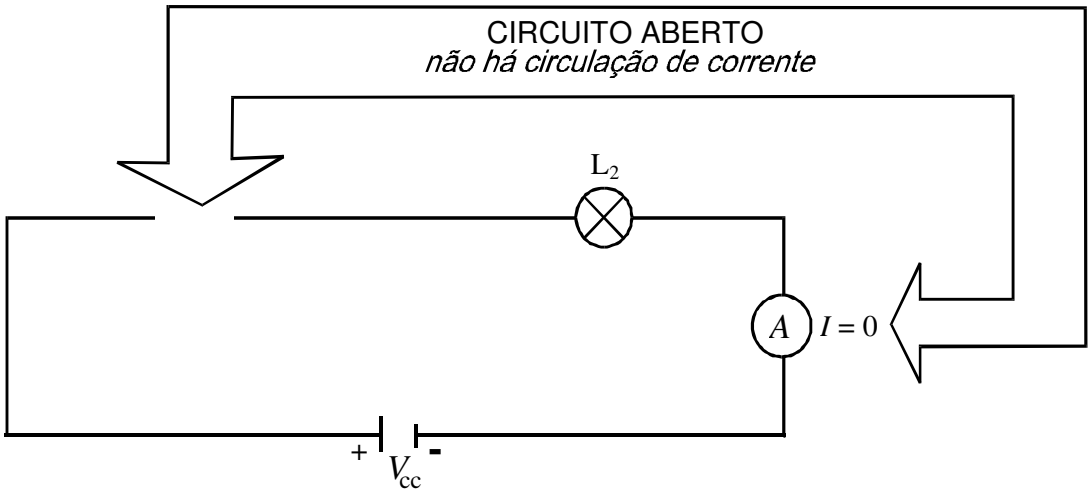


Fig.10 Circuito série aberto.

Em um circuito série, o funcionamento de cada um dos componentes depende do restante.

O circuito série apresenta três características importantes : (1) fornece apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica; (2) a corrente tem o mesmo valor em qualquer ponto do circuito e (3) o funcionamento de cada consumidor depende do restante.

A corrente que circula em um circuito série cujo valor é único ao longo de todo o circuito, pode ser determinada com o auxílio da Lei de Ohm. Para determinar a corrente no circuito série através da Lei de Ohm, deve-se usar a tensão nos terminais da associação e a sua resistência total.

RESISTORES AJUSTÁVEIS

São resistores cujo valor de resistência pode ser ajustado, dentro de uma faixa pré-definida. A **Fig.1** mostra alguns resistores ajustáveis.

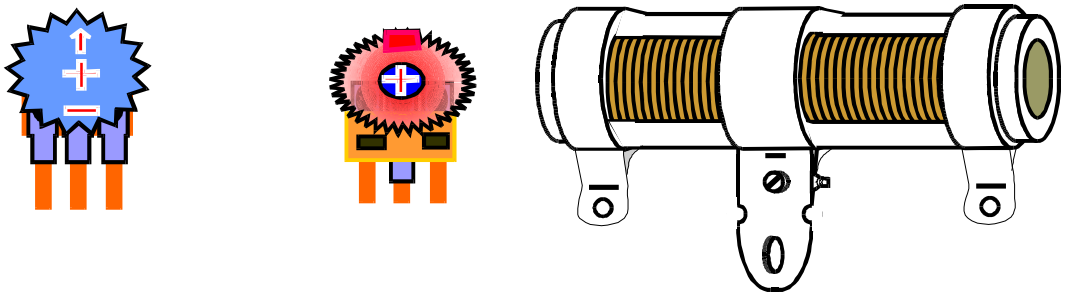


Fig.1 Exemplo de resistores ajustáveis.

Estes tipos de resistores são utilizados em circuitos que exijem calibração. Existem dois tipos de resistores ajustáveis:

- Resistor ajustável de fio (**Fig.2**).
- Trimpot (**Fig.3**).

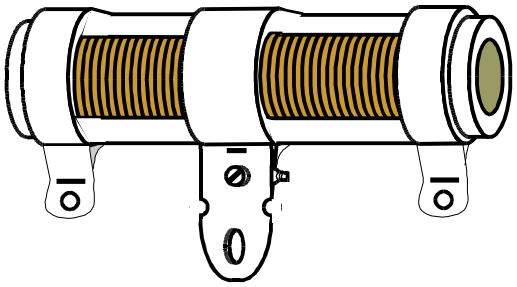


Fig.2 Resistor ajustável de fio.

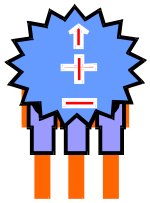


Fig.3 Trimpot.

A constituição física dos resistores ajustáveis não é preparada para suportar trocas de valor freqüentes. Este tipo de componente é utilizado em pontos de um circuito onde o ajuste é feito uma vez e não é mais alterado.

Os resistores ajustáveis (de fio e trimpot) são usados para ajustes definitivos nos circuitos.

RESISTORES AJUSTÁVEIS DE FIO

É um resistor de fio ao qual foi acrescentado um terceiro terminal, denominado de cursor, como mostrado na **Fig.4**.

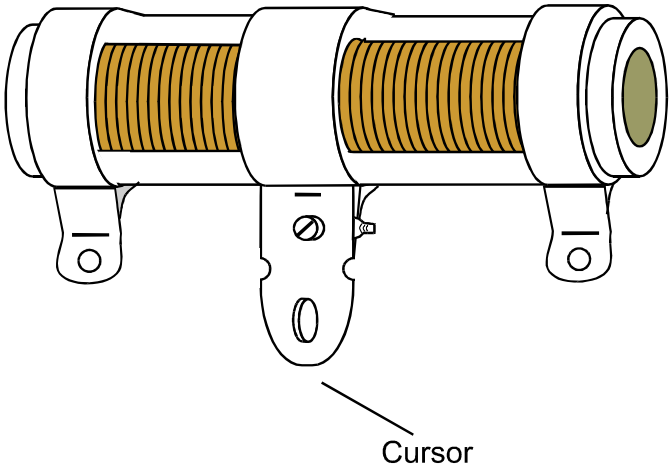


Fig.4 Resistor ajustável de fio.

Esse terminal móvel desliza em contato elétrico com as espiras de fio que constituem o resistor podendo ser fixado na posição desejada. Os resistores ajustáveis de fio, em geral, dissipam grande quantidade de calor porque trabalham com correntes elevadas.

Por essa razão, normalmente são montados em locais com boa ventilação, sendo ligados ao circuito através de condutores, como mostrado na **Fig.5**.

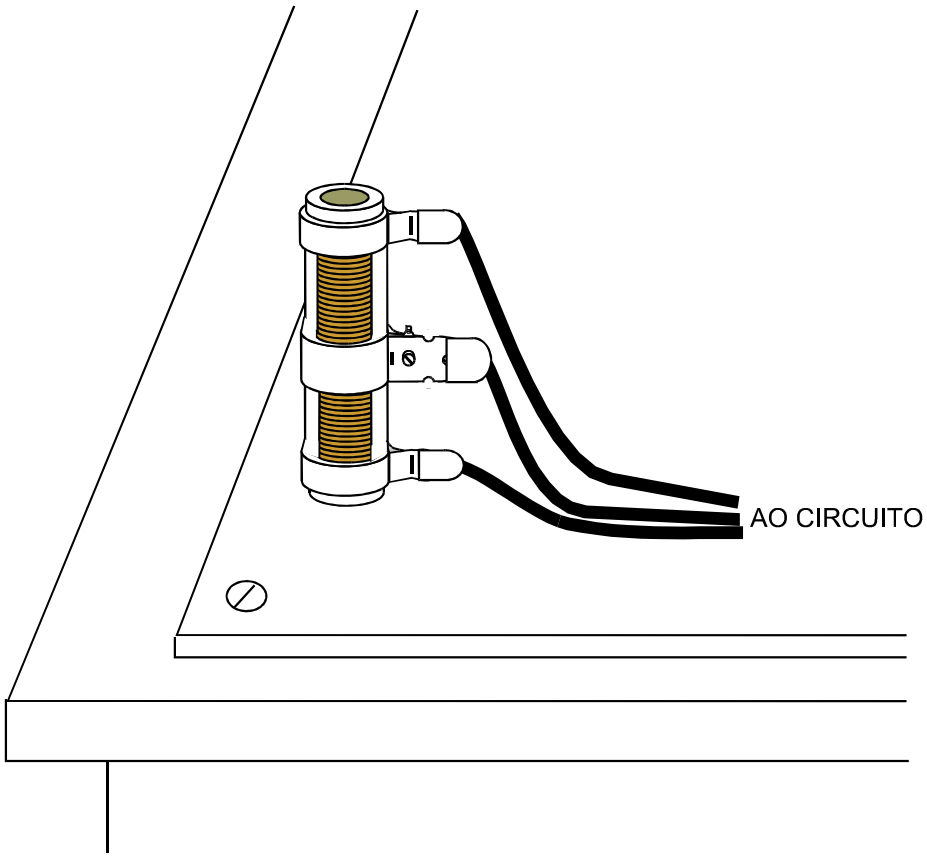


Fig.5 Condutores de ligação do resistor ajustável de fio.

TRIMPOT

É um tipo de resistor ajustável utilizado em pontos de ajuste onde as correntes são pequenas (da ordem de miliampères ou menos). A **Fig.6** mostra dois tipos de trimpots.

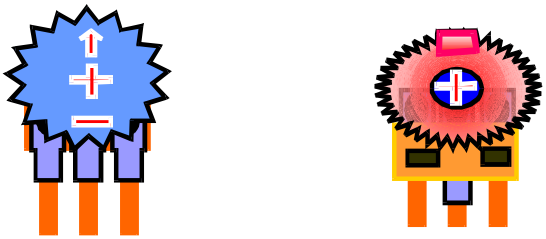


Fig.6 Tipos de trimpots.

Pelo fato de dissiparem pequenas quantidades de calor, os trimpots podem ser montados no próprio circuito onde estão atuando, como ilustrado na **Fig.7**.

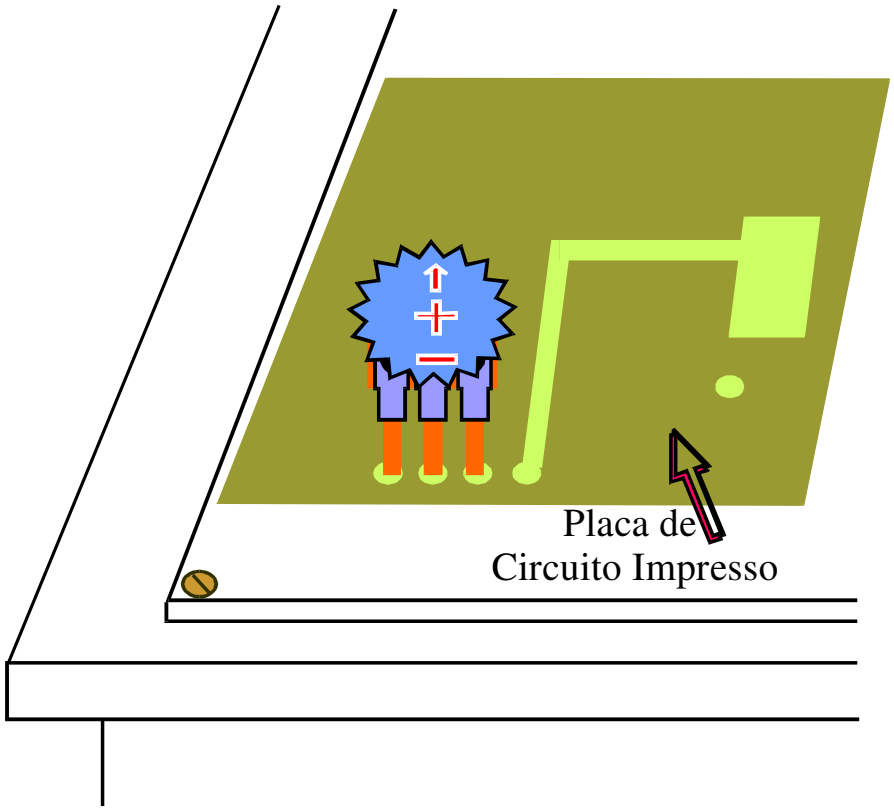


Fig.7 Montagem do trimpot numa placa de circuito impresso.

Existem trimpots verticais e horizontais, de forma a permitir uma opção para uma montagem mais adequada a cada aplicação. A **Fig.8** mostra trimpots desses dois tipos.

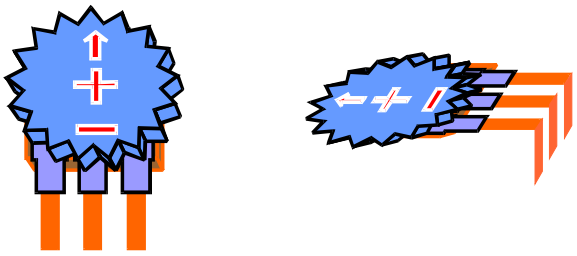


Fig.8 Trimpot vertical e trimpot horizontal.

POTENCIÔMETROS

São resistores com derivação que permite a variação do valor resistivo pelo movimento de um eixo. A **Fig.15** mostra alguns tipos de potenciômetros.

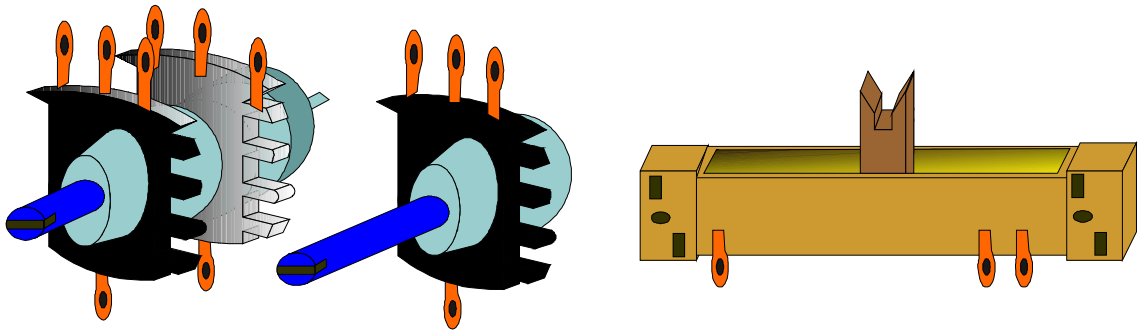


Fig.15 Tipos de potenciômetros.

Os potenciômetros são usados nos equipamentos para permitir a mudança do regime de operação.

Por exemplo, o potenciômetro de volume permite o aumento ou diminuição do nível de intensidade do som. Já o potenciômetro de brilho permite o controle de luminosidade das imagens.

FUNCIONAMENTO

Entre os dois terminais extremos o potenciômetro é um resistor comum. Sobre esse resistor desliza um 3^{0} terminal, chamado de cursor, que permite utilizar apenas uma parte da resistência total do componente (de um extremo até o cursor).

SIMBOLOGIA

A **Fig.16** mostra os símbolos utilizados para representar os potenciômetros, salientando o símbolo normalizado pela ABNT.

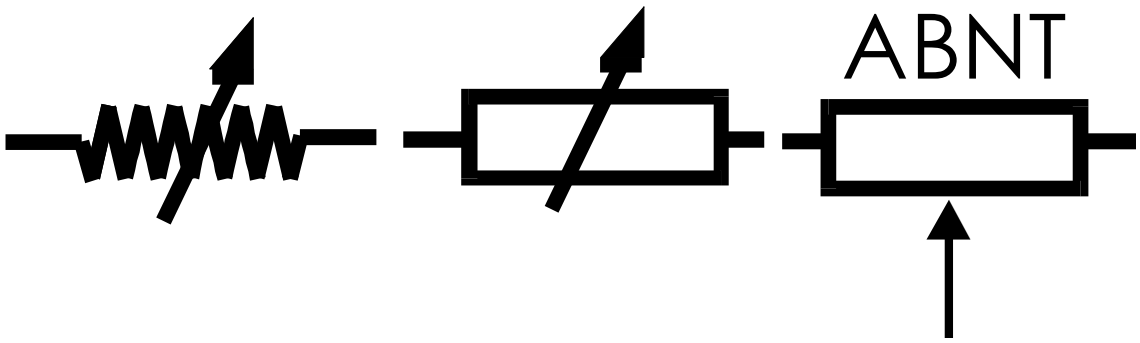


Fig.16 Símbolos dos potenciômetros.

A diferença entre os símbolos dos resistores ajustáveis e potenciômetros aparece na ponta do traço diagonal.

Os componentes cujo valor está sujeito à modificação constante (potenciômetros usados no controle de volume, por exemplo) são denominados **variáveis**. Nos seus símbolos aparece uma seta na ponta do traço diagonal.

Os componentes cujo valor de resistência é ajustado na calibração e não sofre mais alteração, são chamados de **ajustáveis**. O resistor ajustável é um exemplo característico desse tipo de componente.

TIPOS DE POTENCIÔMETROS

Existem dois tipos de potenciômetros:

- De fio.
- De carbono (linear ou logarítmico).

POTENCIÔMETRO DE FIO

Sobre uma tira de fibra isolante, em forma de anel são enroladas várias espiras de fio especial (com resistividade elevada). Fixam-se terminais nas

extremidades da fibra e as pontas do fio formam um resistor, conforme ilustrado na **Fig.17**.

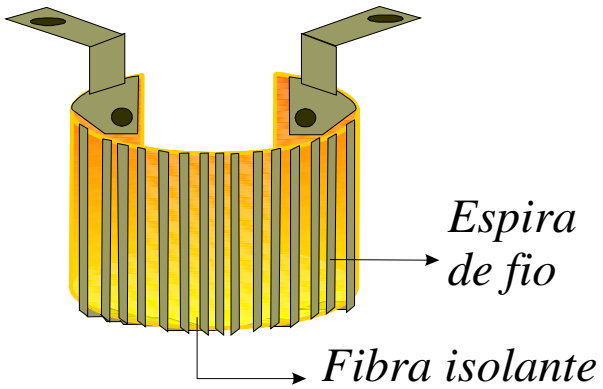


Fig.17 Tira de fibra, espira de fio e terminais de um potenciômetro de fio.

Sobre o topo da fibra corre o contato móvel do cursor, que é ligado mecanicamente ao eixo do componente. O cursor é ligado ao terminal do potenciômetro, como mostrado na **Fig.18**.

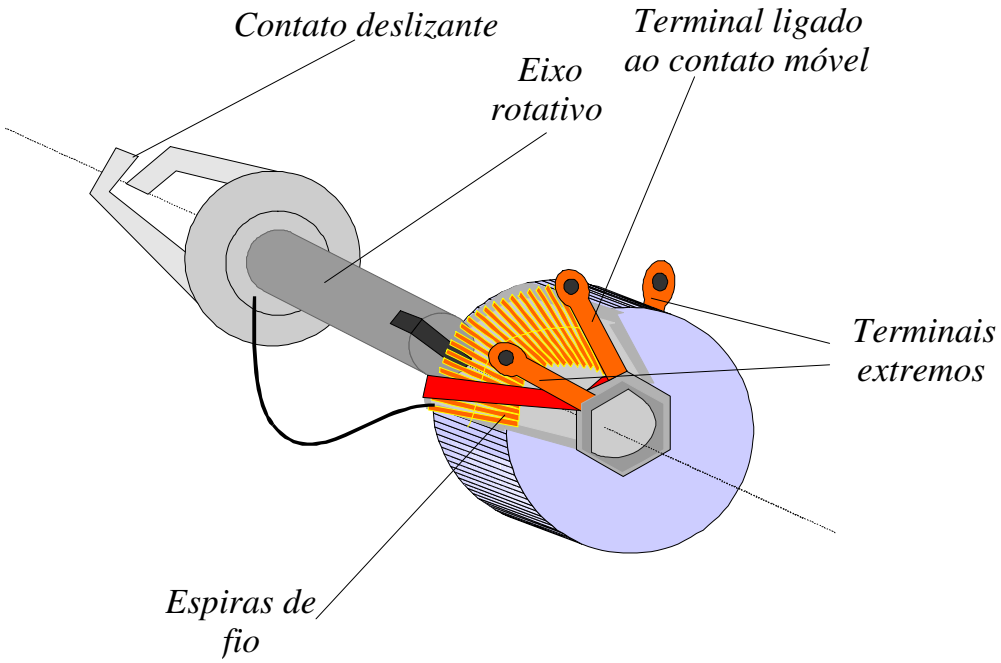


Fig.18 Detalhes dos componentes básicos de um potenciômetro.

Os potenciômetros de fio para circuitos eletrônicos são encontrados em valores de até 22kΩ de resistências e potências de dissipação de até 4W.

Nos potenciômetros de fio a resistência entre o cursor e os extremos varia uniformemente com o movimento do eixo.

Se o eixo for movimentado até a metade do curso total, a resistência entre o cursor e os extremos é a metade da resistência total. Por outro lado, se o cursor for movimentado de 1/4 do curso total em relação a um extremo, a resistência entre este extremo e o cursor é 1/4 da resistência total. Entre o outro extremo e o cursor haverá portanto 3/4 da resistência, como ilustrado na **Fig.19**.

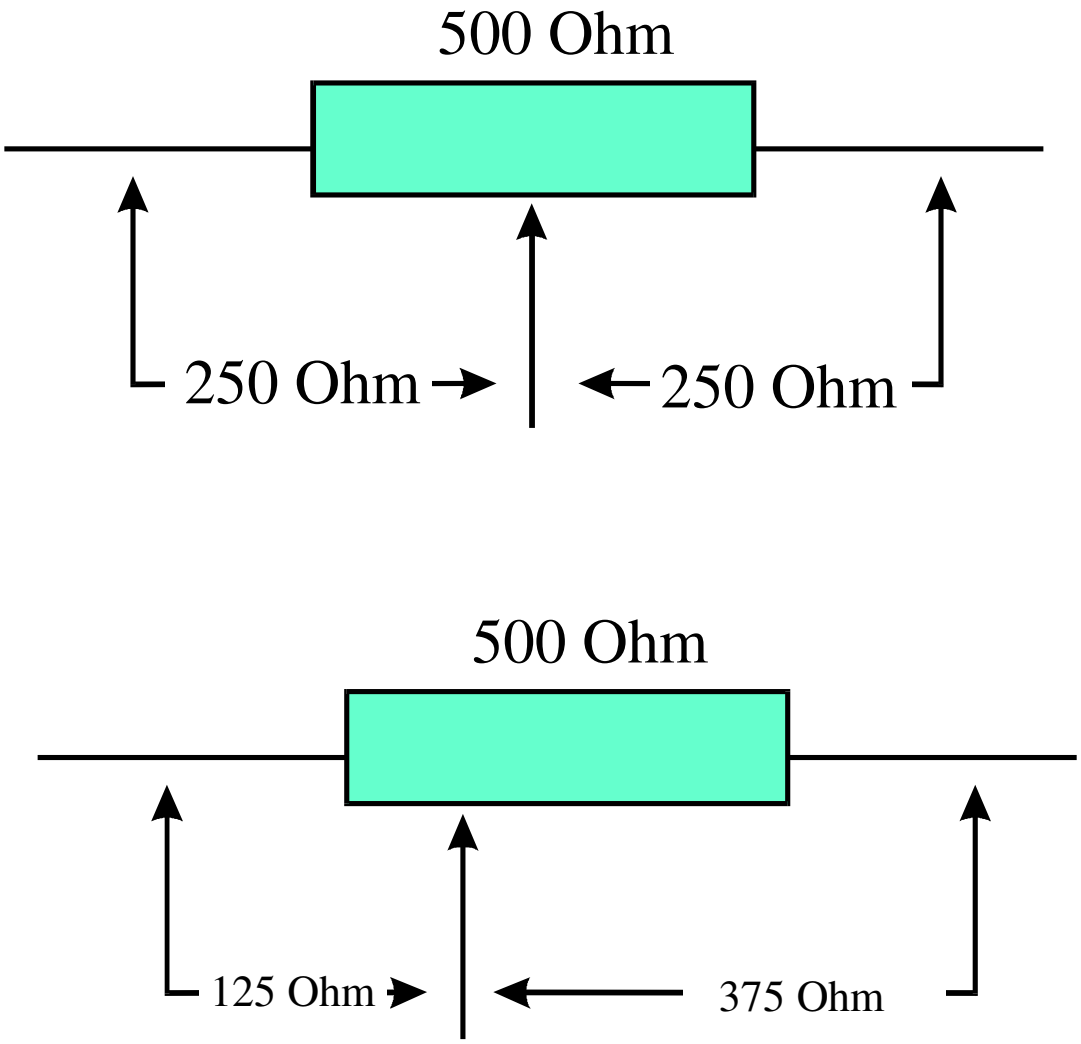


Fig.19 Valores de resistência para diversas posições do cursor.

Componentes com esta característica são chamados de **lineares**. Portanto, os potenciômetros de fio sempre são lineares.

Nos potenciômetros lineares, a variação da resistência é proporcional ao movimento do eixo.

POTENCIÔMETRO DE CARBONO (CARVÃO)

São semelhantes aos potenciômetros de fio na sua construção. Diferem apenas em um aspecto: nos potenciômetros de carvão as espiras de fio especial (do potenciômetro de fio) são substituídas por uma camada de carbono que é depositada sobre uma superfície de material isolante, como pode ser visto na **Fig.20**.

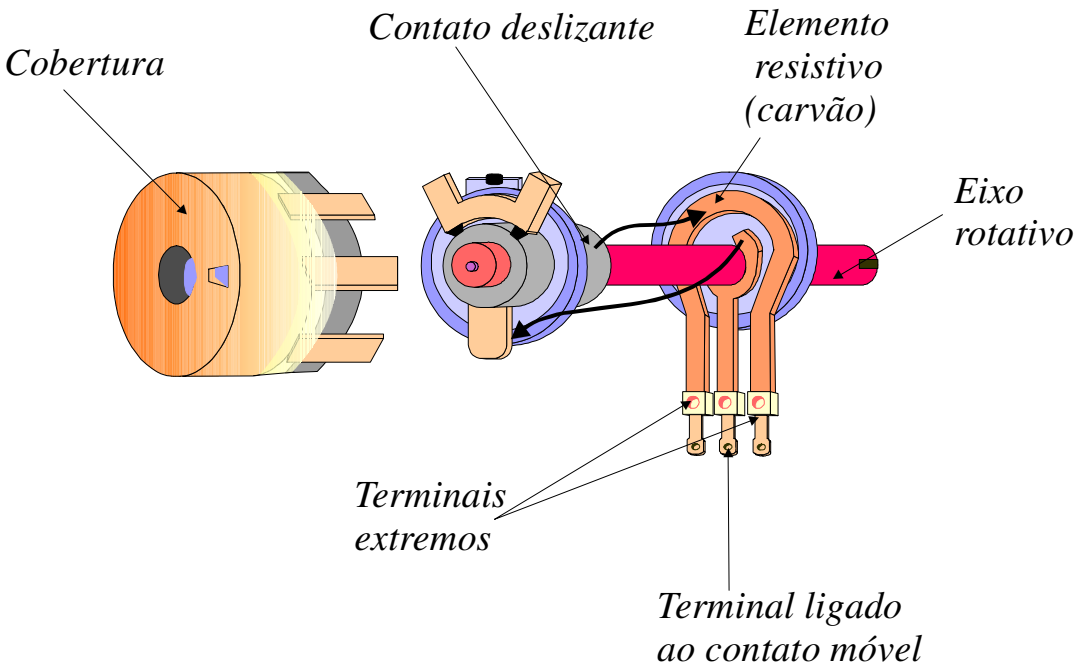


Fig.20 Detalhes construtivos de um potenciômetro de carbono.

Os potenciômetros de carbono podem ser lineares ou logarítmicos. Os potenciômetros de carvão lineares são semelhantes aos de fio, ou seja, a variação da resistência entre um extremo e o cursor é proporcional ao movimento do eixo.

A variação da resistência dos potenciômetros lineares em relação à posição do cursor se apresenta conforme o gráfico da **Fig.21**.

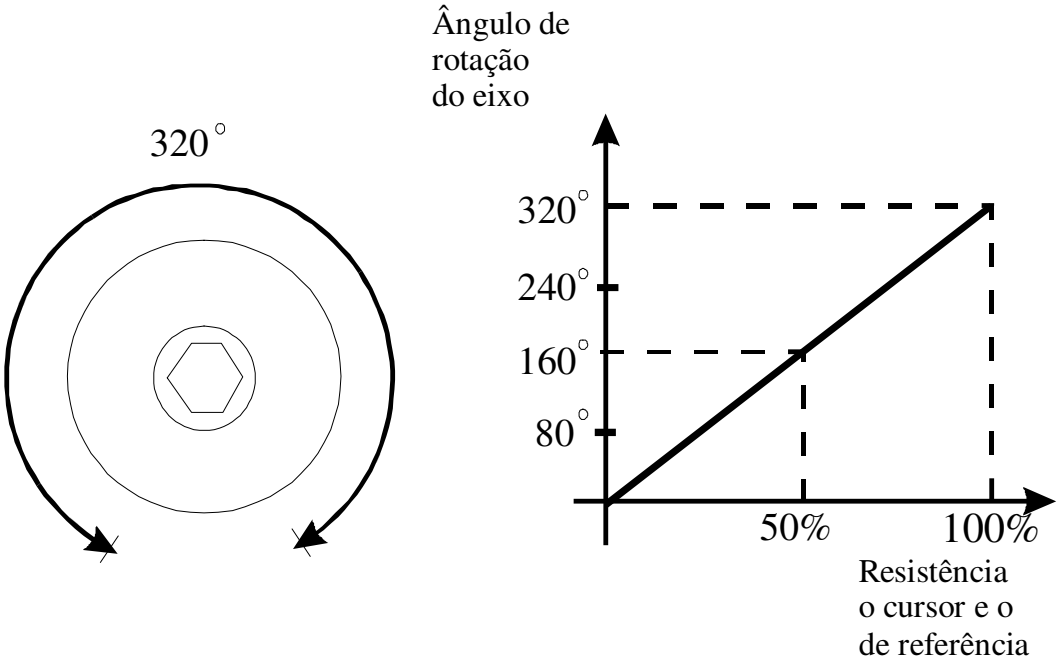


Fig.21 Representação gráfica da variação da resistência com a posição do cursor dos potenciômetros lineares.

Os potenciômetros de carvão logarítmicos se comportam de forma diferente, com respeito à relação entre posição do cursor e resistência.

Quando se inicia o movimento do cursor, a resistência sofre pequena variação. À medida que o cursor vai sendo movimentado, a variação na resistência torna-se cada vez maior.

A variação da resistência entre um extremo e o cursor é desproporcional ao movimento do eixo.

POTENCIÔMETROS DUPLOS

Os potenciômetros duplos são utilizados principalmente em aparelhos de som estereofônicos. Existem modelos de potenciômetros duplos em que um único eixo comanda os dois potenciômetros, e também modelos em que cada potenciômetro tem um eixo próprio. Essas concepções podem ser vistas nas **Figs.24** e **25**, respectivamente.

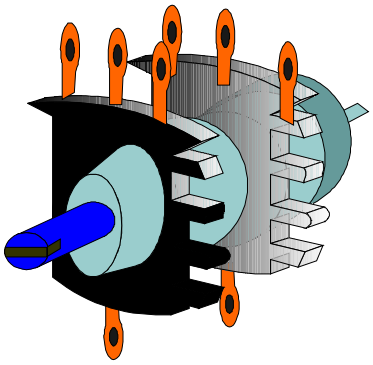


Fig.24 Potenciômetro duplo com um único eixo.

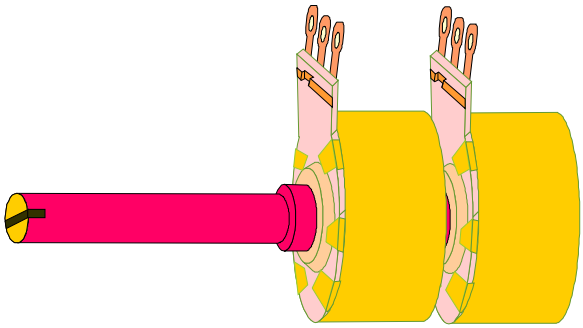


Fig.25 Potenciômetro duplo com eixo duplo.

POTENCIÔMETROS DESLIZANTES

Potenciômetros em que o movimento rotativo do eixo é substituído por um movimento linear do cursor. A **Fig.26** mostra um exemplo.

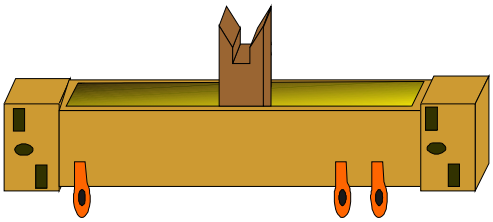


Fig.26 Potenciômetro deslizante.

QUESTIONÁRIO

1. Quando se usam os resistores ajustáveis em um circuito ?

2. Quais os tipos de resistores ajustáveis conhecidos ?

3. Que são potenciomêtros ?

4. Quando são os potenciomêtros usados ?

Introdução ao osciloscópio

O osciloscópio é um equipamento que permite a observação de variações de tensão elétrica em forma de figuras em uma tela.

Através do osciloscópio pode-se realizar pesquisas e análises de defeitos em circuitos eletrônicos e elétricos.

As imagens na tela de um osciloscópio são formadas unicamente pelo movimento rápido de um ponto na direção horizontal e vertical, como num aparelho de televisão. As imagens formam-se na tela do osciloscópio através de movimentos simultâneos na direção vertical e horizontal.

O painel do osciloscópio e a função dos seus controles

A **Fig.1** apresenta um modelo de osciloscópio com o painel de controle e entradas de sinal.

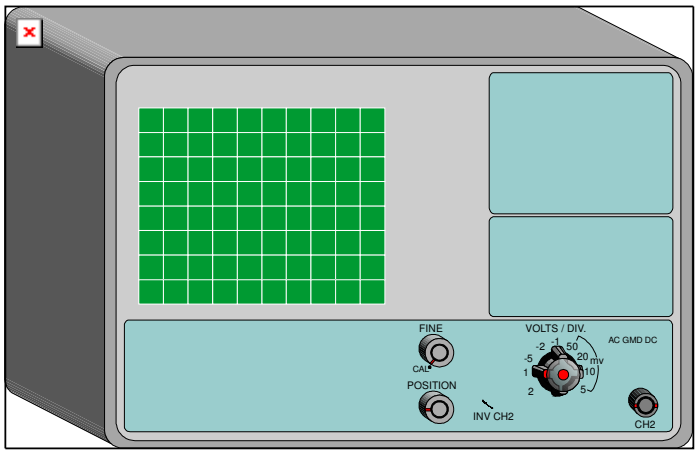


Fig.1 Osciloscópio.

Os controles e entradas do painel podem ser divididos em três grupos:

- Controles de ajuste do traço ou ponto na tela.
- Controles e entrada de atuação vertical.
- Controles e entrada de atuação horizontal.

CONTROLES DE AJUSTE DO TRAÇO OU PONTO NA TELA

A **Fig.2** destaca o grupo de controles de ajuste do traço ou ponto em um modelo de osciloscópio.

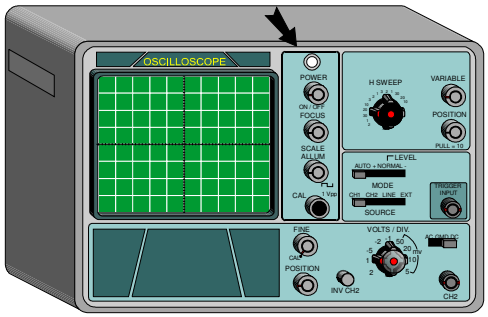


Fig.2 Grupo de ajuste do traço ou ponto.

Serão apresentadas, entre parênteses, as designações dos controles em inglês visto que é comum os osciloscópios apresentarem este tipo de identificação.

BRILHO OU LUMINOSIDADE (BRIGHTNESS OU INTENSITY)

É o controle que ajusta a luminosidade do ponto ou traço. Em alguns osciloscópios, este controle está acoplado à chave liga-desliga do equipamento. Deve-se evitar o uso de brilho excessivo, pois a tela do osciloscópio pode ser danificada.

FOCO (FOCUS)

É o controle que ajusta a nitidez do ponto ou traço luminoso. O foco deve ser ajustado de forma a se obter um traço fino e nítido na tela. Os ajustes de brilho e foco são ajustes básicos que são realizados sempre que se utiliza o osciloscópio.

ILUMINAÇÃO DA RETÍCULA (SCALE ILLUMINATION)

Permite iluminar as divisões traçadas na tela.

CONTROLES E ENTRADA DE ATUAÇÃO VERTICAL

A **Fig.3** destaca o grupo de controles de atuação vertical em um modelo de osciloscópio.

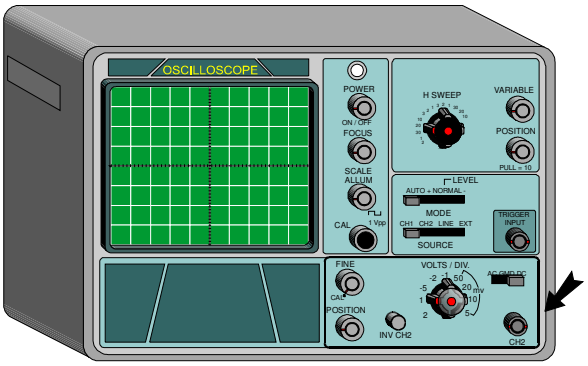


Fig.3 Grupo de controle e atuação vertical.

ENTRADA DE SINAL VERTICAL (INPUT)

Nesta entrada é conectada a ponta de prova do osciloscópio. As variações de tensão aplicadas nesta entrada aparecem sob forma de figuras na tela do osciloscópio, como pode ser visto na **Fig.4**.

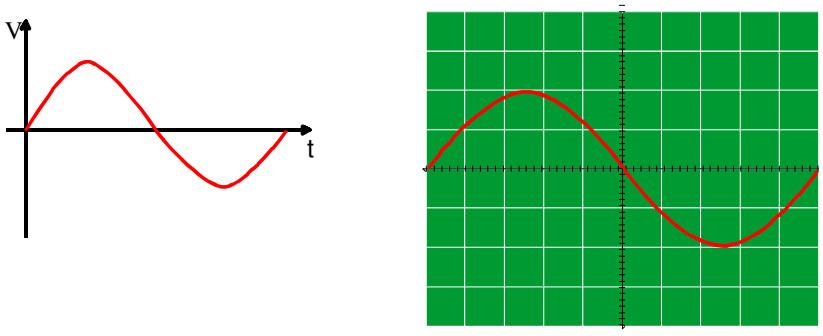


Fig.4 Sinal aplicado e imagem na tela.

CHAVE DE SELEÇÃO DO MODO DE ENTRADA (CA-CC OU AC-DC)

Esta chave é selecionada de acordo com o tipo de forma de onda a ser observada. Em alguns osciloscópios esta chave tem 3 posições (CA - 0 - CC ou CA - GND - CC). A posição adicional “0” ou “GND” é usada para a realização de ajustes do osciloscópio em algumas situações.

CHAVE SELETORA DE GANHO VERTICAL (V/GAIN OU V/DIV)

Através desta chave seletora é possível **aumentar ou diminuir a amplitude** de uma projeção na tela do osciloscópio. A **Fig.5** ilustra o que ocorre com a figura quando se movimenta esta chave seletora.

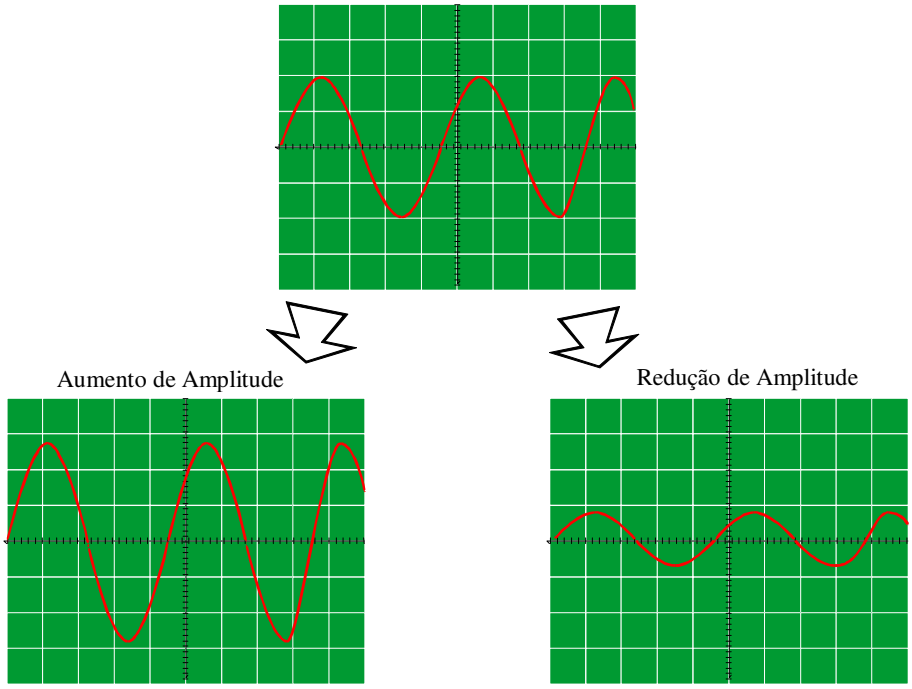


Fig.5 Aumento ou redução de amplitude através da chave seletora de ganho vertical.

AJUSTE FINO DE GANHO VERTICAL (FINE - VARIABLE OU VERNIER)

Tem a mesma função da chave seletora de ganho vertical: aumentar ou diminuir a amplitude da figura na tela. Enquanto a chave seletora provoca

variações de amplitude em passos (proporções definidas), o ajuste fino permite variar linearmente a amplitude.

POSIÇÃO VERTICAL (POSITION)

Permite movimentar a projeção mais para cima ou para baixo na tela. A movimentação não interfere na forma da figura projetada na tela.

CONTROLES DE ATUAÇÃO HORIZONTAL

A **Fig.6** destaca os controles de atuação horizontal em um modelo de osciloscópio.

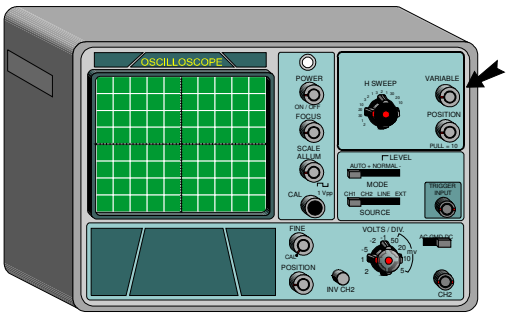


Fig.6 Grupo de controle de atuação horizontal.

CHAVE SELETORA NA BASE DE TEMPO (H. SWEEP)

É o controle que permite variar o tempo de deslocamento horizontal do ponto na tela.

Através deste controle, pode-se ampliar ou reduzir horizontalmente uma figura na tela.

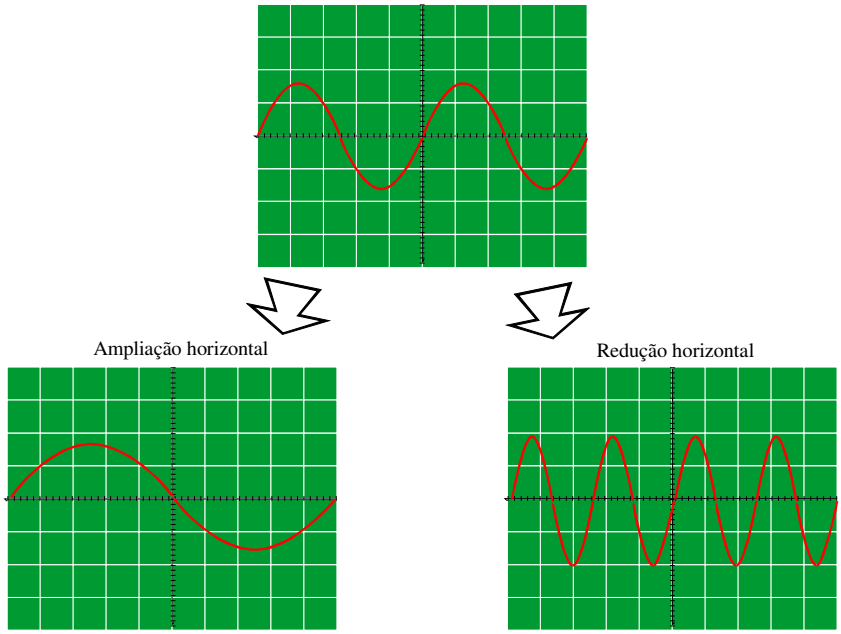


Fig.7 - Ampliação ou redução horizontal através da chave seletora de base de tempo.

Em alguns osciloscópios esta chave seletora tem uma posição identificada como EXT (externa) possibilitando que o deslocamento horizontal do ponto seja controlado por um circuito externo ao osciloscópio através de uma entrada específica. Quando a posição externa é selecionada, não há formação do traço na tela, obtendo-se apenas um ponto.

AJUSTE FINO (VARIABLE)

Este controle permite um ajuste mais preciso do tempo de deslocamento do ponto na tela. Atua em conjunto com a chave seletora da base de tempo.

POSIÇÃO HORIZONTAL (H. POSITION)

É o ajuste que permite centrar horizontalmente a forma de onda na tela. Girando o controle de posição horizontal para a direita, o traço se movimenta horizontalmente para a direita ou vice-versa.

CONTROLES E ENTRADA DE SINCRONISMO

São controles que permitem fixar a forma de onda na tela do osciloscópio. Estes controles são usados principalmente na observação de sinais alternados. A **Fig.8** destaca os controles de sincronismo.

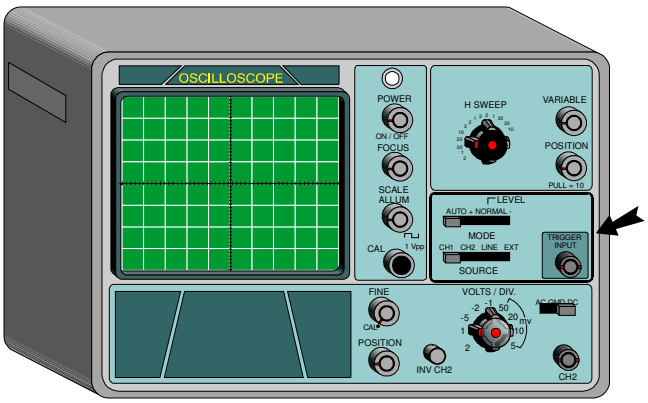


Fig.8 Grupo de controle de fixação da forma de onda na tela.

Estes controles são analisados por ocasião da utilização do osciloscópio na medição de tensão CA.

PONTAS DE PROVA

As pontas de prova são utilizadas para interligar o osciloscópio aos pontos de medição. A **Fig.9** mostra uma ponta de prova.

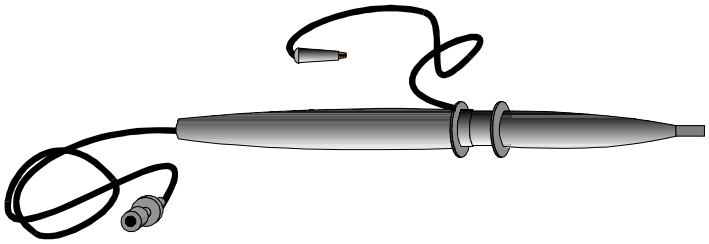


Fig.9 Ponta de prova.

Uma das extremidades da ponta de prova é conectada a uma das entradas do osciloscópio através de um conector e a extremidade livre serve para conexão aos pontos de medição.

A extremidade livre tem uma garra jacaré, denominada de terra da ponta de prova, que deve ser conectada ao terra do circuito e uma ponta de entrada de sinal que deve ser conectada no ponto que se deseja medir.

Existem dois tipos de pontas de prova:

- Ponta de prova 1:1.
- Ponta de prova 10:1.

A ponta de prova 1:1 se caracteriza por aplicar à entrada do osciloscópio a mesma tensão ou forma de onda que é aplicada à ponta de medição, como ilustrado na **Fig.10**.

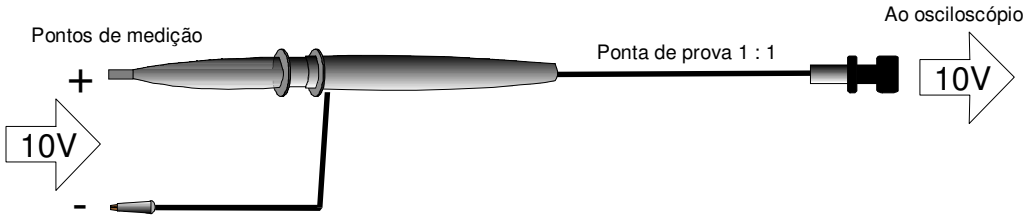


Fig.10 Ponta de prova 1:1.

A ponta de prova 10:1 é divisora de tensão, entregando ao osciloscópio a décima parte da tensão aplicada à ponta de medição, como pode ser visto na **Fig.11**.

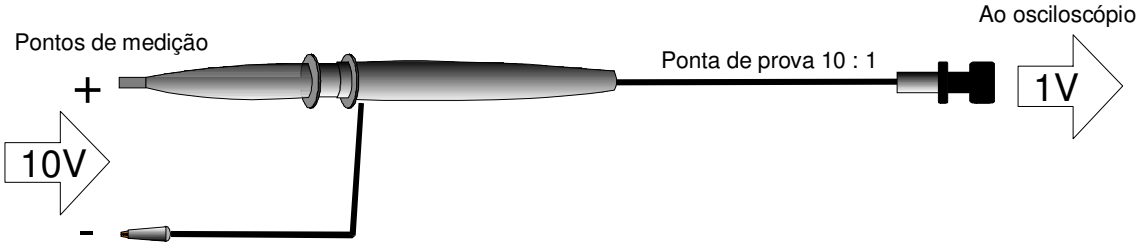


Fig.11 Ponta de prova 10:1.

As pontas de prova 10:1 são usadas para permitir que o osciloscópio seja utilizado para medições ou observações de sinais com tensões ou amplitudes 10 vezes maiores que o seu limite de medição normal.

Por exemplo, um osciloscópio que permite a leitura de tensões de até 50V com ponta de prova 1:1 pode ser utilizado em tensões de até 500V com uma ponta de prova 10:1. Existem pontas de prova que dispõem de um botão através do qual se pode selecionar a opção 10:1 ou 1:1, conforme mostrado na **Fig.12**.

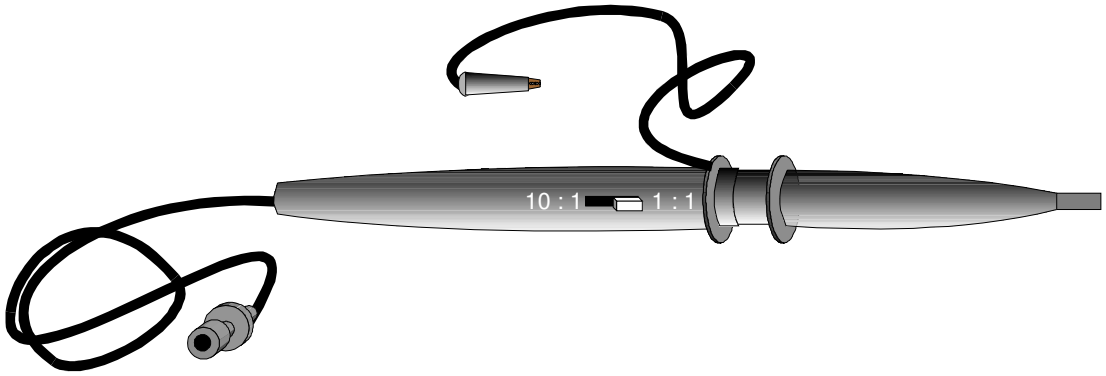


Fig.12 Ponta de prova com opção de seleção 1:1 e 10:1.

OSCILOSCÓPIOS DE DUPLO TRAÇO

Existem osciloscópios que permitem a visualização simultânea de dois sinais na tela. Estes osciloscópios são denominados de osciloscópios de duplo traço. A **Fig.13** mostra um osciloscópio deste tipo.

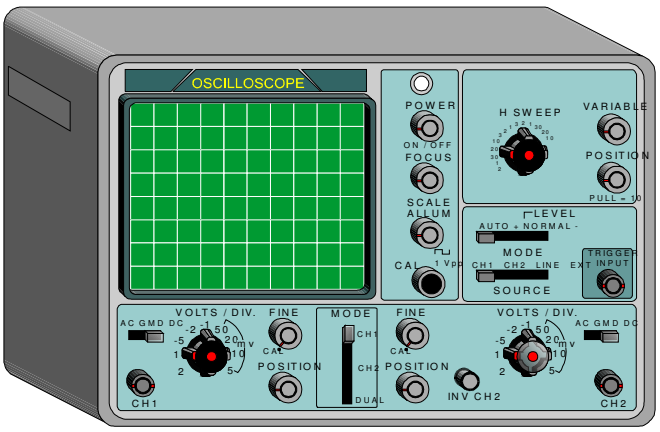


Fig.13 Osciloscópio de duplo traço.

Estes osciloscópios têm alguns controles que são comuns aos dois traços e outros que são individuais para cada traço. Estes controles são :

- Controles básicos (brilho, foco).
- Controles do horizontal (base de tempo e posição).

A **Fig.14** destaca os controles que são comuns aos dois traços em um modelo de osciloscópio.

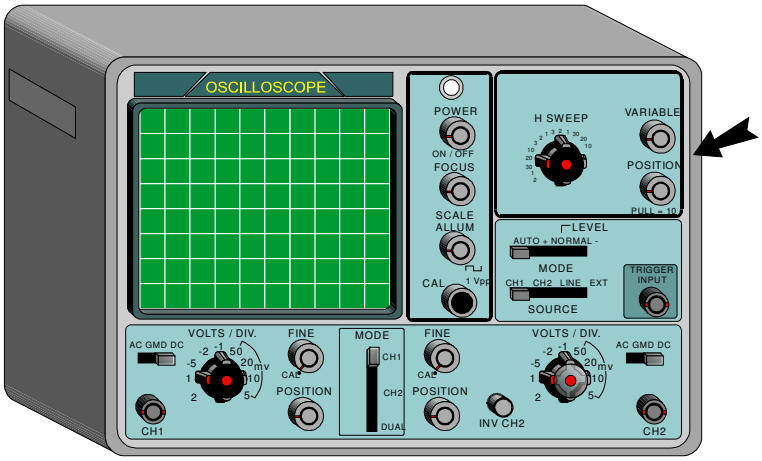


Fig.14 Controles comuns aos dois traços em osciloscópio de duplo traço.

A diferença entre os osciloscópios de traço simples e traço duplo situam-se basicamente no seguinte :

- Nas entradas e controles do vertical.
- Nos controles e entrada de sincronismo.

ENTRADAS E CONTROLES DO VERTICAL

A figura na tela do osciloscópio é uma projeção da tensão aplicada à entrada vertical. Conseqüentemente, para observar dois sinais simultaneamente é necessário aplicar duas tensões em duas entradas verticais.

Os osciloscópios de duplo traço dispõem de dois grupos de controles verticais:

- Um grupo para o CANAL A ou CANAL 1.
- Um grupo para o CANAL B ou CANAL 2.

Cada canal vertical controla um dos sinais na tela (amplitude e posição vertical).

A **Fig.15** destaca os grupos de controles do canal 1 (CH1) e canal 2 (CH2).

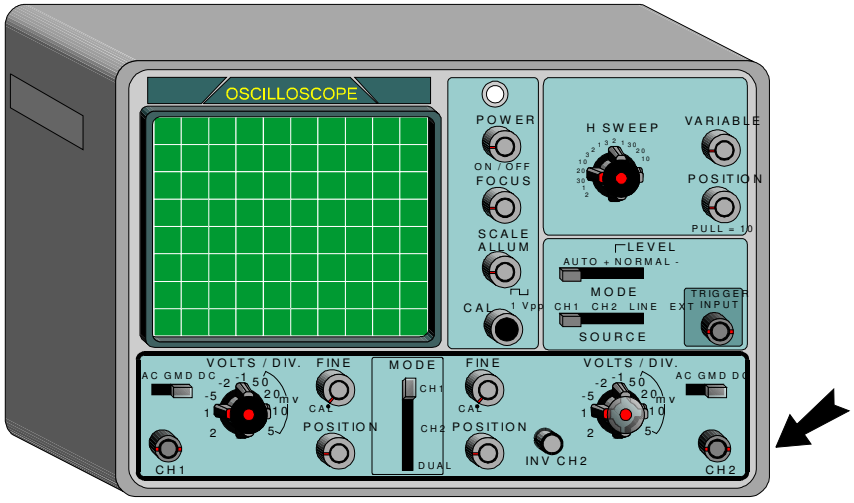


Fig.15 Detalhes do grupo de controle dos canais 1 e 2.

Os grupos de controle verticais dos canais geralmente são iguais como ilustrado na **Fig.16**. Cada canal dispõe de:

- Entrada vertical (1A e 2A).
- Chave seletora CA-0-CC (1B e 2B).
- Chave seletora de ganho vertical (1C e 2C).
- Ajuste fino de ganho vertical (1D e 2D).
- Posição vertical (1E e 2E).

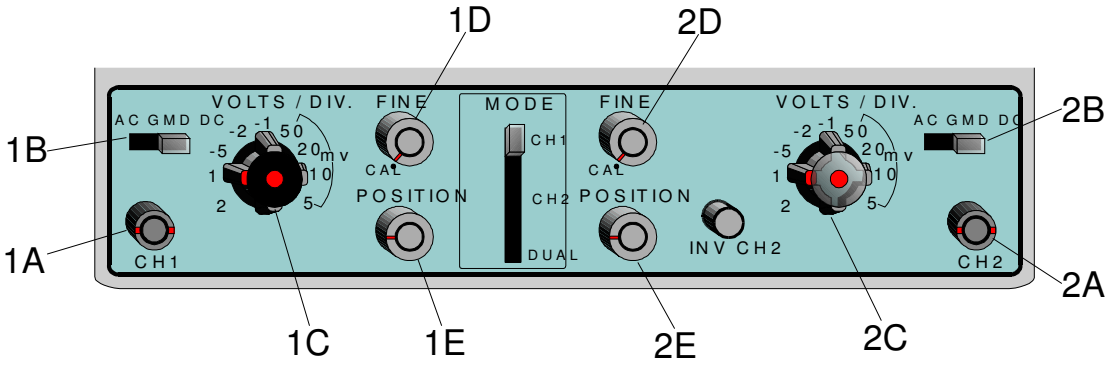


Fig.16 Grupo de Controle Vertical dos Canais.

Alguns osciloscópios dispõem ainda de um controle denominado de INVERSOR (INVERT) que permite inverter a figura na tela, como pode ser visto na **Fig. 17**.

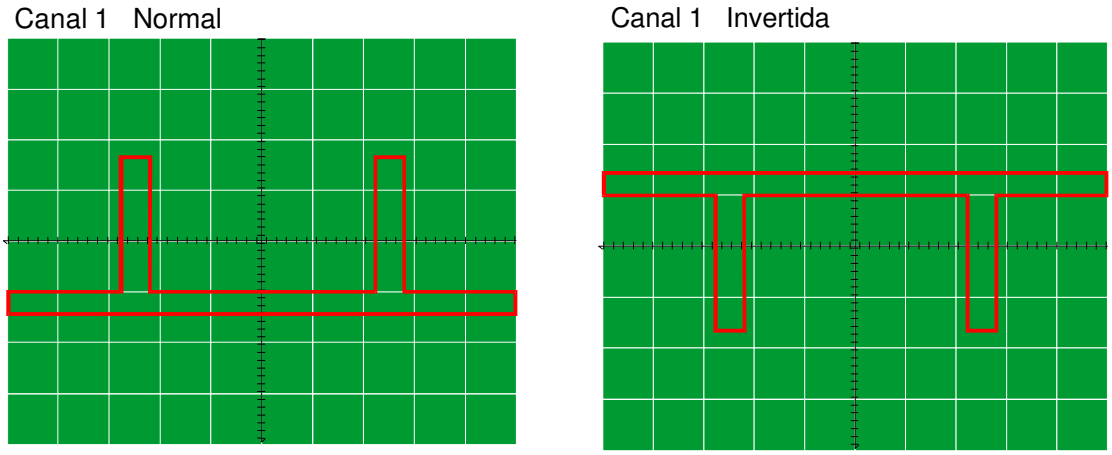


Fig.17 Ação do botão INVERSOR**.**

Um osciloscópio de duplo traço pode ser utilizado como se fosse de traço simples. Tanto o canal 1 como o canal 2 podem ser utilizados individualmente.

Entre os grupos de controles verticais do canal 1 e 2 existe uma chave seletora que permite que se determinem quantos e quais os canais que aparecerão na tela. Esta chave tem pelo menos três posições: CH1, CH2 e DUAL (ou chopper).

Na posição CH1 aparecerá apenas um traço na tela, projetando o sinal que estiver aplicado à entrada vertical do canal 1.

Na posição CH2 aparecerá apenas um traço na tela, projetando o sinal aplicado à entrada vertical do canal 2.

Na posição DUAL (chopper) aparecerão na tela dois traços, cada um representando o sinal aplicado a uma das entradas.

Em osciloscópios mais sofisticados, esta chave pode ter mais posições que permitem outras alternativas de funcionamento.

CONTROLES DE SINCRONISMO

Os controles de sincronismo têm por função fixar a imagem na tela. A **Fig.18** destaca o grupo de controles de sincronismo.

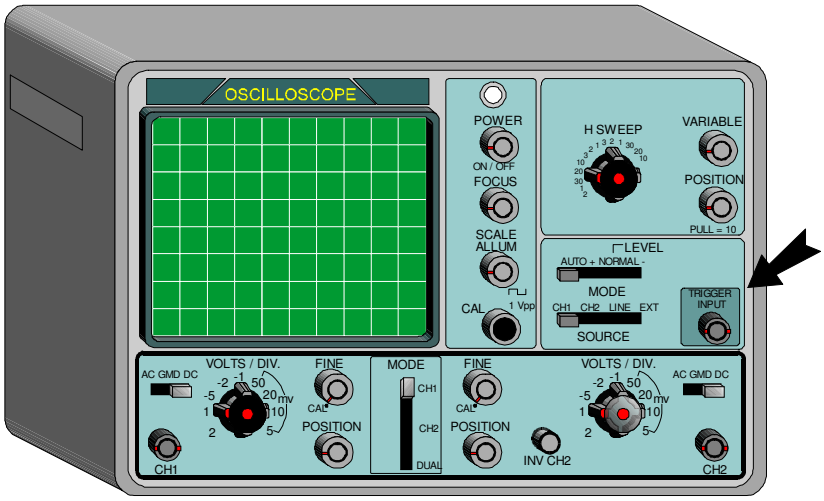


Fig.18 Grupo de controle de sincronismo.

Os controles de sincronismo são:

- Chave seletora de fonte de sincronismo.
- Chave seletora de modo de sincronismo.
- Controle de nível de sincronismo.
- Entrada de sincronismo.

Estes controles serão analisados detalhadamente por ocasião da medição de tensão alternada com o osciloscópio.

QUESTIONÁRIO

1. Qual a utilidade de um osciloscópio ?

2. Quais são os controles de ajuste do traço ou ponto na tela ?

3. Quais são os controles de atuação horizontal ?

4. O que se entende por um ponta de prova 10:1 ?

Medição de tensão contínua

Antes de se proceder à medição de uma tensão CC com o osciloscópio, deve-se realizar uma preparação que pode ser divida em três etapas. São elas:

- Ajuste da referência.
- Seleção do modo de entrada.
- Conexão da ponta de prova ao osciloscópio.

AJUSTE DA REFERÊNCIA

Quando o osciloscópio é utilizado para a medição de tensões contínuas, faz-se necessário estabelecer uma posição para o traço na tela que servirá de posição de referência.

O traço deve ser posicionado sobre uma das divisões do reticulado da tela, utilizando o controle de posição vertical do canal selecionado, como mostrado na **Fig.1**.

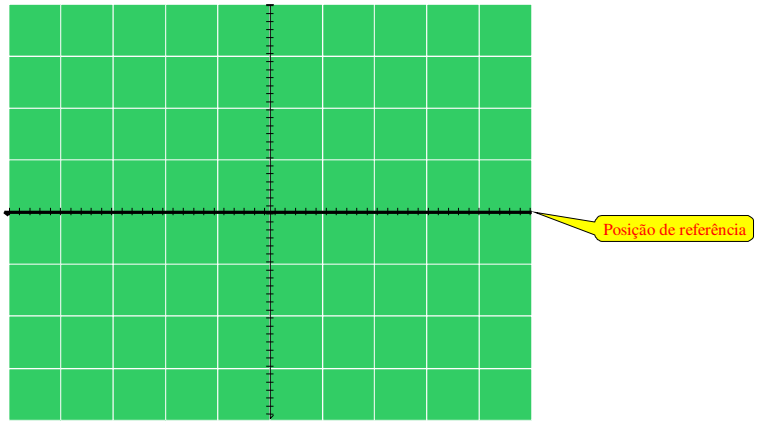


Fig.1 Posicionamento do traço de referência na tela.

Para realizar o ajuste da posição de referência do traço, deve-se proceder da seguinte forma:

1. Colocar a chave seletora de modo de entrada (CA-0-CC) do canal escolhido na posição 0.

2. Ajustar a posição do traço na tela usando o controle de posição vertical deste canal.

A posição ideal do operador em relação ao aparelho para realizar o ajuste é frontal à tela, conforme ilustrado na **Fig.2**.

Fig.2 Posição correta do operador para a realização do ajuste do traço na tela.

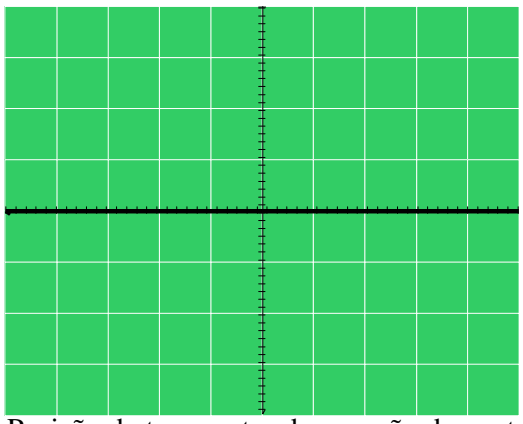
SELEÇÃO CA-CC E CONEXÃO DA PONTA DE PROVA

Para medição de tensão contínua, a chave seletora de modo de entrada (CA-0-CC) do canal escolhido deve ser posicionada para CC após o ajuste da referência.

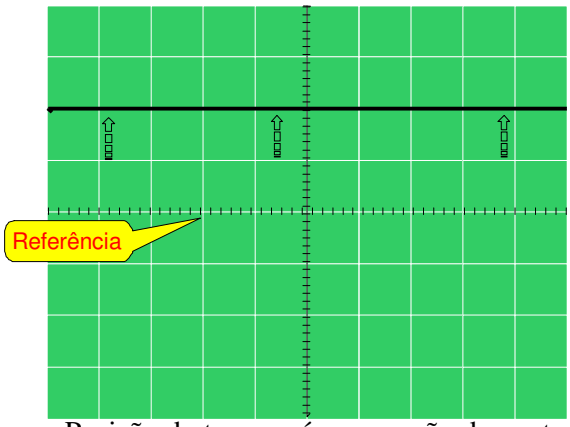
A ponta de prova é então conectada na entrada vertical do canal escolhido.

Após a preparação do osciloscópio, as extremidades da ponta de prova podem ser conectadas nos pontos onde está presente a tensão a ser medida.

Quando as extremidades livres da ponta de prova são conectadas aos pontos de medição, o traço muda de posição na tela, como pode ser visto na **Fig.3**.



Posição do traço antes da conexão da ponta de prova aos pontos de medição



Posição do traço após a conexão da ponta de prova aos pontos de medição

Fig.3 Mudança da posição do traço na tela após conexão das pontas de prova aos pontos de medição.

INTERPRETAÇÃO DA MEDIÇÃO

A determinação do valor de tensão aplicada na entrada é feita em duas etapas:

1. Verifica-se de quantas divisões foi a mudança de posição do traço na tela (em relação à posição de referência).

A **Fig.4** mostra um exemplo de mudança de posição de traço de duas divisões.

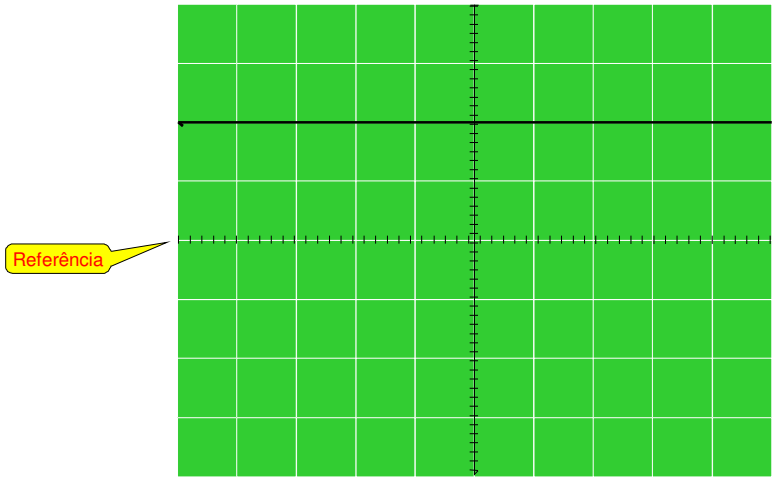


Fig.4 Mudança do traço da tela de duas divisões.

2) Multiplica-se o número de divisões obtidos na primeira etapa pelo valor indicado pela chave seletora de ganho vertical do canal, que é a chave que indica o valor de cada divisão.

A **Fig.5** mostra, por exemplo, uma mudança de posição do traço na tela de 3 divisões e a chave seletora de ganho vertical na posição 5V/divisão. Logo, a tensão CC medida é de 15V.

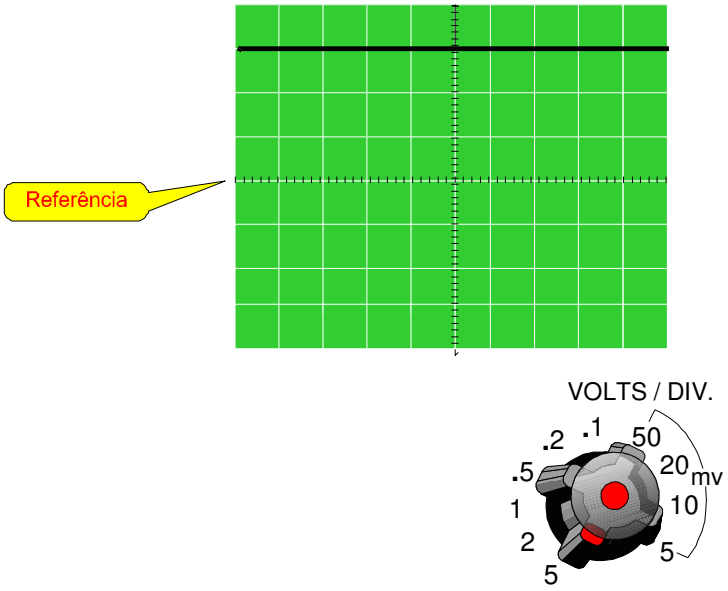


Fig.5 Traço em 3 divisões na tela.

INTERPRETAÇÃO DA MEDIÇÃO

Determina-se de quantas divisões foi a mudança de posição no traço da tela. Este número de divisões multiplicado pelo valor indicado pela chave seletora de ganho vertical fornece a tensão existente entre os pontos medidos.

Pelo fato de permitir a medição de tensões, o eixo vertical da tela do osciloscópio é denominado de eixo das tensões.

Para facilitar a leitura, o eixo vertical central é dividido em subdivisões. A **Fig.6** mostra um traço situada a 2,4 divisões da posição de referência e a chave seletora de ganho vertical na posição 2V/divisão. Neste caso, a tensão contínua medida é de 4,8V.

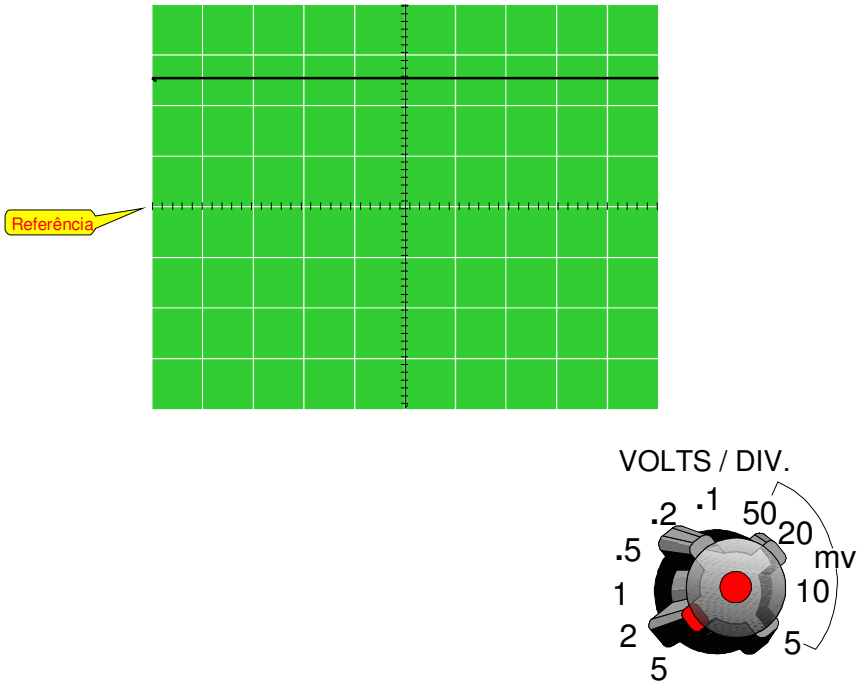


Fig.6 Traço numa posição intermediária.

O valor da tensão correspondente a cada divisão da tela é definido pela chave seletora de ganho vertical.

Através do posicionamento da chave seletora de ganho vertical, o osciloscópio pode ser utilizado para medições de valores de tensão desde alguns milivolts até dezenas de volts.

TENSÕES CONTÍNUAS POSITIVAS E NEGATIVAS

Os circuitos eletrônicos podem utilizar o terra conectado ao pólo negativo ou positivo da fonte de alimentação.

Dependendo do terra, as tensões CC medidas em um circuito podem ser positivas ou negativas.

O osciloscópio pode ser utilizado tanto para medições de tensões positivas como negativas.

Para que a medição seja correta, a garra, que é o terra da ponta de prova do osciloscópio, deve ser ligado ao terra do circuito, seja ele positivo ou negativo.

O terminal de terra da ponta de prova do osciloscópio sempre é conectado ao terra do circuito, seja ele positivo ou negativo.

Quando a tensão aplicada na entrada vertical é positiva, o traço se desloca da posição de referência para cima, como ilustrado na **Fig.7**.

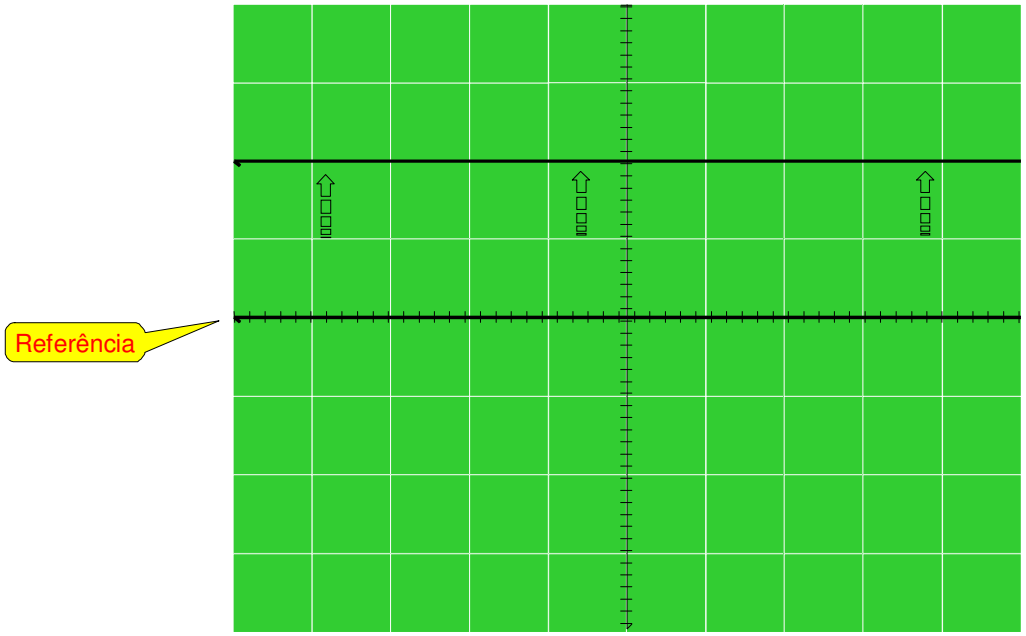


Fig.7 Posição da linha para uma tensão de entrada positiva.

Quando a tensão aplicada na entrada vertical é negativa, o traço se desloca da posição de referência para baixo, como mostrado na **Fig.8**.

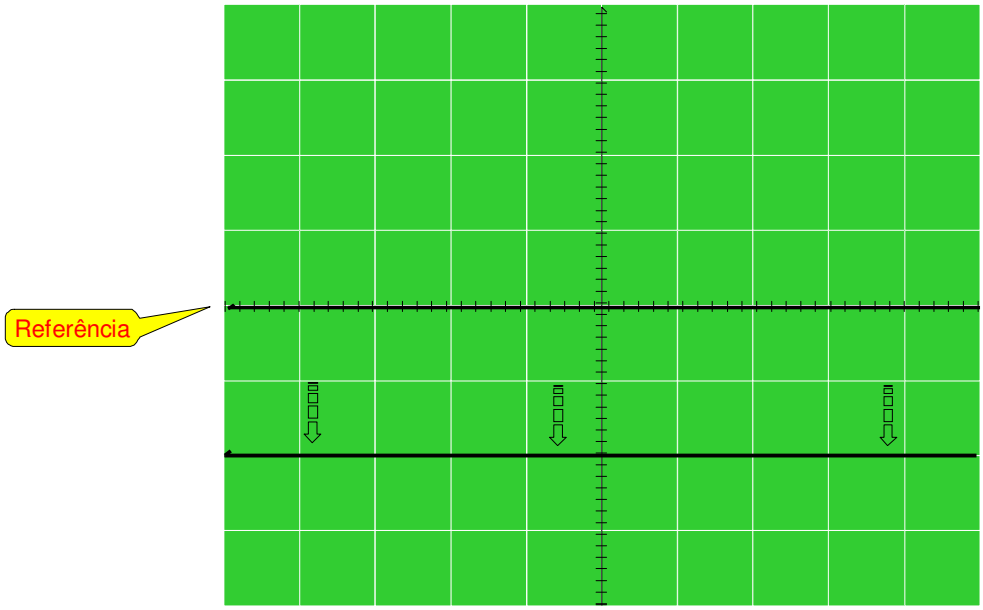


Fig.8 Posição da linha para uma tensão de entrada negativa.

A interpretação dos valores das tensões negativas é feita da mesma forma que a das positivas.

CHAVE SELETORA DE GANHO VERTICAL

A chave seletora de ganho vertical estabelece a quantos volts corresponde cada divisão vertical da tela.

Em todos os osciloscópios, esta chave seletora tem muitas posições, de forma que se possa fazer com que cada divisão da tela tenha valores que vão, por exemplo, desde 5mV até 5V, como mostra o exemplo da **Fig.9**.

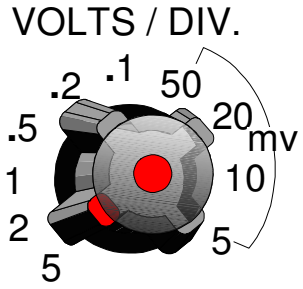


Fig.9 Exemplo de chave seletora**.**

Em cada posição da chave seletora, o osciloscópio tem um limite de medição.

Por exemplo, com 8 divisões verticais na tela, selecionando a chave seletora para a posição 10V/divisão, pode-se medir tensões de até 80V.

Se a tensão aplicada na entrada vertical exceder o limite de medição, o traço sofre um deslocamento tal que ele desaparece totalmente da tela.

Quando isso acontece, deve-se mudar a posição da chave seletora de ganho vertical para um valor maior, reajustar a referência e refazer a medição.

Quando o valor de tensão a ser medido é conhecido aproximadamente, a chave seletora de ganho vertical deve ser posicionada adequadamente antes de realizar a medição.

É importante lembrar que cada vez que a posição da chave seletora de ganho vertical for modificada, deve-se conferir a referência e se necessário reajustá-la.

A posição de referência do traço na tela deve ser conferida a cada mudança de posição da chave seletora de ganho vertical e reajustada, se necessário.

AJUSTE FINO DE GANHO VERTICAL

Quando o osciloscópio dispõe de um ajuste fino de ganho vertical, este deve ser calibrado, **antes de executar a medição,** caso contrário a leitura não será correta.

O ajuste fino de ganho vertical deve ser calibrado antes da execução de medição de tensão com o osciloscópio.

Em alguns osciloscópios, o ajuste fino de ganho vertical já tem a posição de calibração indicada, como mostra o exemplo da **Fig.10**.

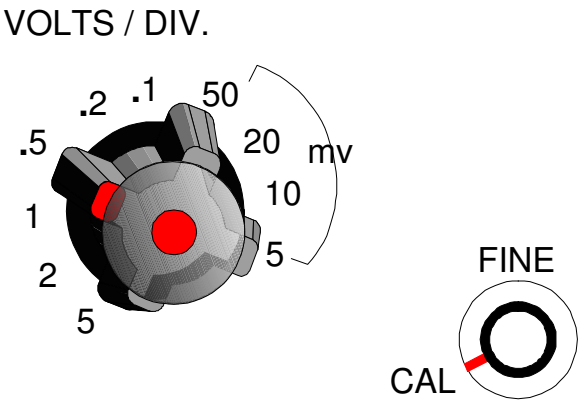


Fig.10 Indicação da posição de calibração no botão de ajuste fino.

Neste caso, antes de realizar a medição, o botão é colocado nesta posição.

Quando o botão de ajuste fino não tiver posição de calibração indicada, o ajuste é feito utilizando-se uma tensão CC (ou CA quadrada) que está disponível em um borne do painel do osciloscópio, como pode ser visto na **Fig.11**.

Fig.11 Bornes para calibração**.**

O procedimento de calibração é o seguinte: conecta-se a ponta de prova (extremidade livre) ao borne e ajusta-se o controle de ajuste fino de forma que a tensão lida na tela coincida com a tensão (CC ou CA) indicada ao lado do borne.

Medição de tensão alternada

O osciloscópio pode ser utilizado como recurso para realização de uma medição de tensão alternada.

Este tipo de medição através do osciloscópio é muito comum nos reparos e manutenção em equipamentos eletrônicos.

PROCESSO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO CA

O processo de medição de tensão CA com osciloscópio pode ser dividido em três etapas:

- Obtenção da forma de onda CA na tela.
- Sincronismo da projeção.
- Interpretação da medição.

OBTENÇÃO DA FORMA DE ONDA CA NA TELA

Considerando um osciloscópio que já esteja com um traço selecionado (CH1 ou CH2) e ajustado em brilho e foco, a projeção de CA na tela exige ainda:

- a seleção do modo de entrada.
- a conexão da ponta de prova do osciloscópio.
- a conexão da ponta de prova ao osciloscópio.

Seleção de modo de entrada

Para medições de tensões alternadas esta chave pode ser posicionada em “CA” ou “CC”.

Conexão da ponta de prova ao osciloscópio

A ponta de prova é conectada à entrada vertical do canal selecionado. Em osciloscópios que tenham ajuste fino de ganho vertical, deve-se proceder a sua calibração antes da execução de medição.

Conexão da ponta de prova aos pontos de medição

Após o posicionamento dos controles, as pontas de prova são conectadas aos pontos de medição.

Quando as pontas de prova são conectadas aos pontos de medição, a tensão CA presente nesses pontos é projetada em forma de figura na tela do osciloscópio. Normalmente a figura está fora de sincronismo, como pode ser visto na **Fig.12**.

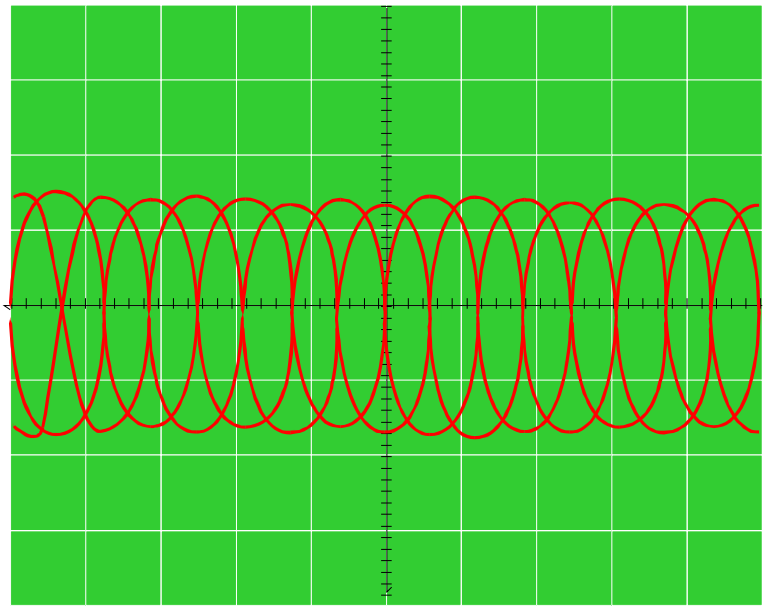


Fig.12 Tela com forma de onda fora de sincronismo.

Caso a figura exceda os limites da tela na vertical, deve-se atuar na chave seletora de ganho vertical de forma a obter-se o máximo de amplitude dentro dos limites da tela.

Da mesma forma, se a figura tiver uma amplitude muito pequena, atua-se na chave seletora de ganho vertical para obter-se uma figura com maior amplitude.

Sincronismo da projeção

O sincronismo consiste na fixação da imagem na tela para facilitar a observação.

A fixação da imagem é feita através dos controles de sincronismo do osciloscópio.

A **Fig.13** destaca o grupo de controles de sincronismo.

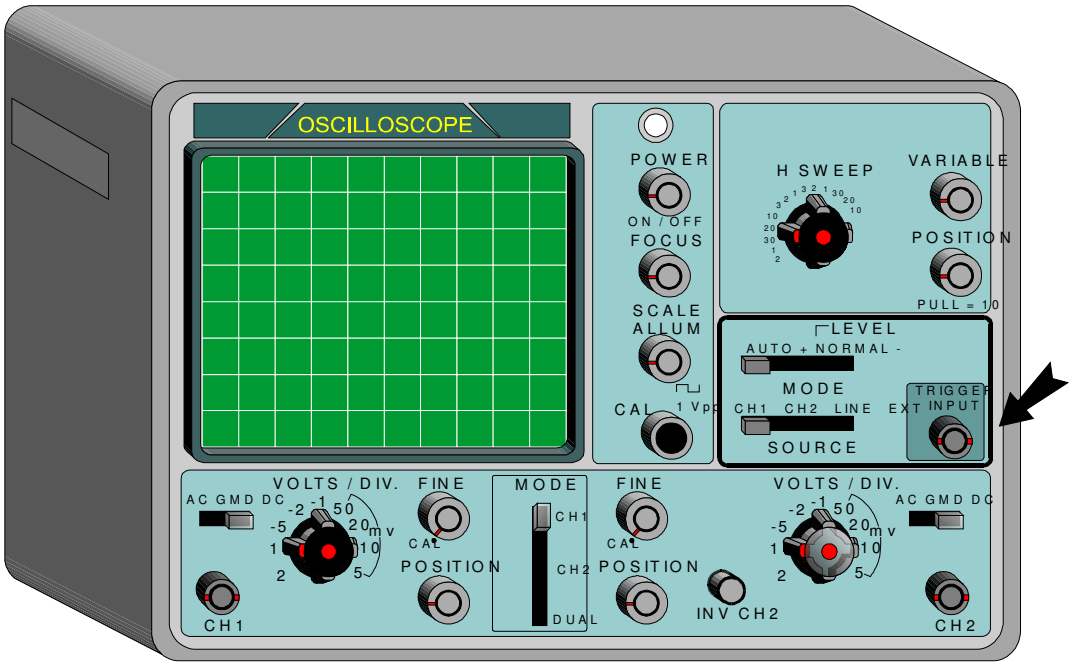


Fig.13 Controles de sincronismo.

Os controles de sincronismo são:

- Chave seletora de fonte de sincronismo.
- Chave de modo de sincronismo.
- Controle de nível de sincronismo.

Chave seletora de fonte (Source)

Selecionada onde será tomado o sinal de sincronismo necessário para fixar a imagem na tela do osciloscópio.

Esta chave seletora normalmente tem 4 posições, como pode ser visto na **Fig.14**.

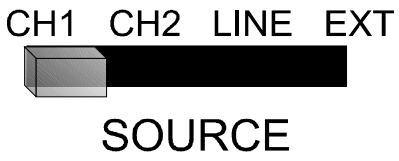


Fig.14 Posições de uma chave seletora.

Posição CH1: o sincronismo é controlado pelo sinal aplicado ao canal 1.

Posição CH2: o sincronismo é controlado pelo sinal aplicado ao canal 2.

Sempre que se usa o osciloscópio traço duplo como traço simples, usando apenas um canal, a chave seletora deve ser posicionada para o canal utilizado (CH1 ou CH2).

REDE

Realiza o sincronismo com base na freqüência da rede de alimentação do osciloscópio (senoidal 60Hz). Nesta posição, consegue-se facilmente sincronizar na tela sinais aplicados na entrada vertical que sejam obtidos a partir da rede elétrica.

EXTERNO

Na posição “externo”, o sincronismo da figura é obtido a partir de outro equipamento externo conectado ao osciloscópio.

O sinal que controla o sincronismo na posição “externo” é aplicado à entrada de sincronismo, conforme ilustrado na **Fig.15**.

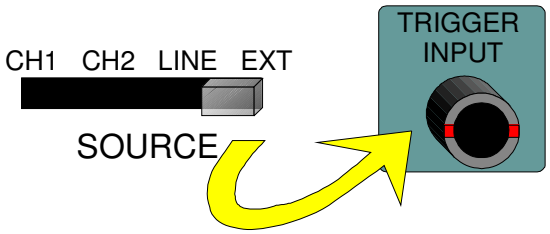


Fig.15 Chave de sincronismo na posição EXT.

Chave de modo de sincronismo (Mode)

Normalmente esta chave tem duas ou três posições : AUTO, NORMAL+, NORMAL-

AUTO : Nesta posição, o osciloscópio realiza o sincronismo da projeção automaticamente, com base no sinal selecionado pela chave seletora de fonte de sincronismo.

NORMAL+, NORMAL- : Nestas posições, o sincronismo é ajustado manualmente através do controle de nível de sincronismo (LEVEL).

Na posição NORMAL+, o sincronismo é positivo, fazendo com que o primeiro pico que apareça na tela seja o positivo, como ilustrado na **Fig.16**.

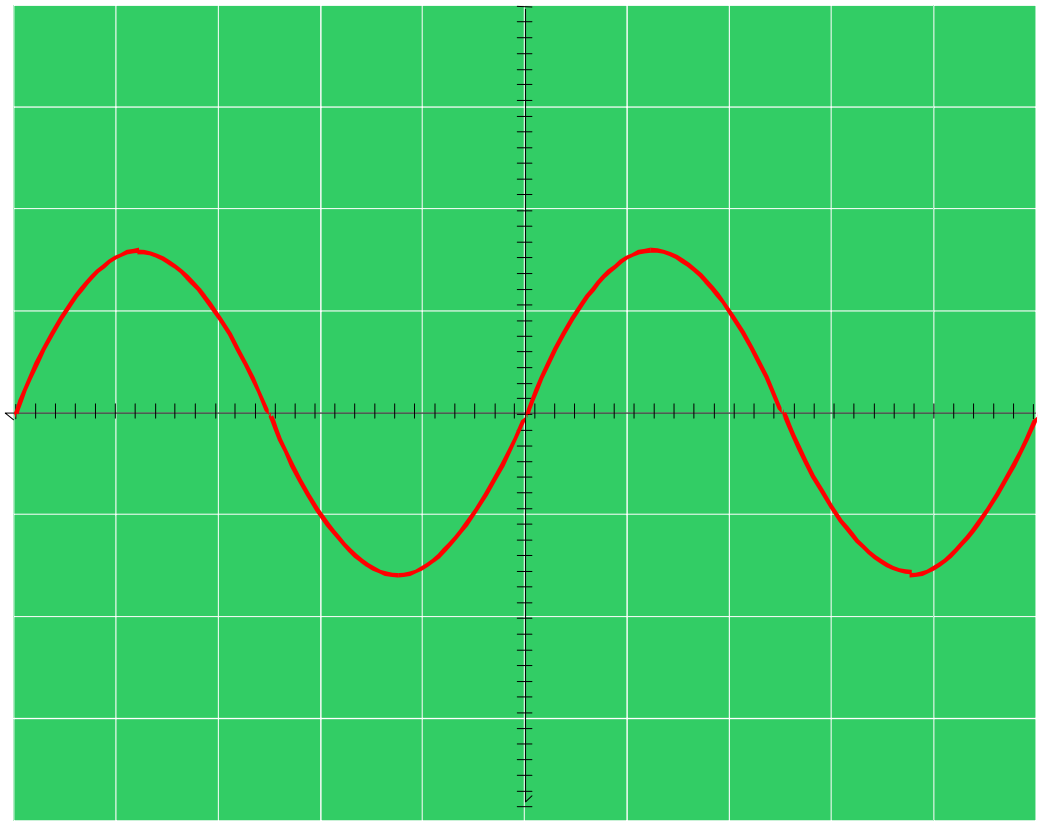


Fig.16 Na posição NORMAL+.

Na posição NORMAL- o sincronismo é negativo, como mostrado na **Fig.17**.

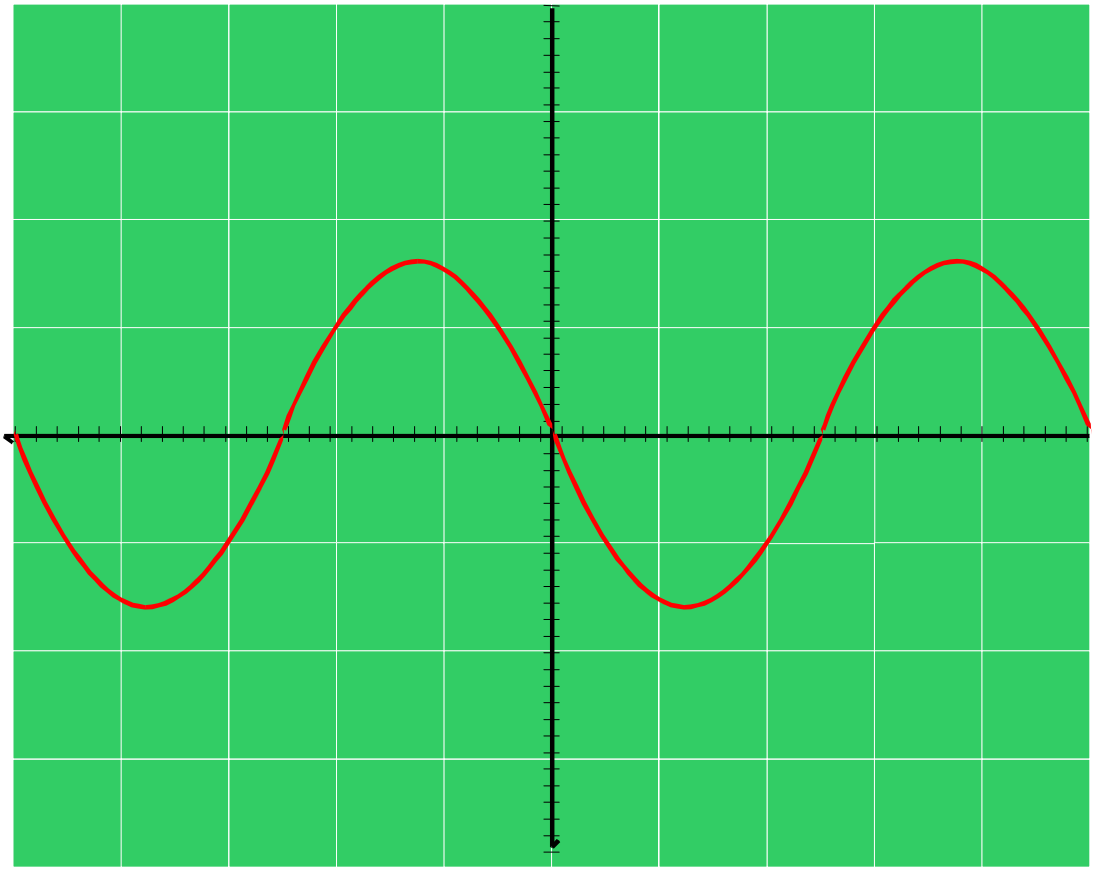


Fig.17 Na posição NORMAL - .

Para realizar a leitura de tensão é necessário sincronizar a figura. Em geral, posicionando a chave de modo de sincronismo para AUTO o osciloscópio fixa automaticamente a figura na tela.

Se na posição AUTO não houver sincronismo, deve-se passar para NORMAL e sincronizar com auxílio do controle de nível.

INTERPRETAÇÃO DA MEDIÇÃO

A leitura de tensão alternada aplicada na entrada vertical no osciloscópio é feita através da determinação de tensão de pico a pico da figura projetada na tela.

Verifica-se o número de divisões verticais ocupados pela figura e multiplica-se pelo valor indicado pela chave seletora de ganho vertical, conforme ilustrado na **Fig.18**.

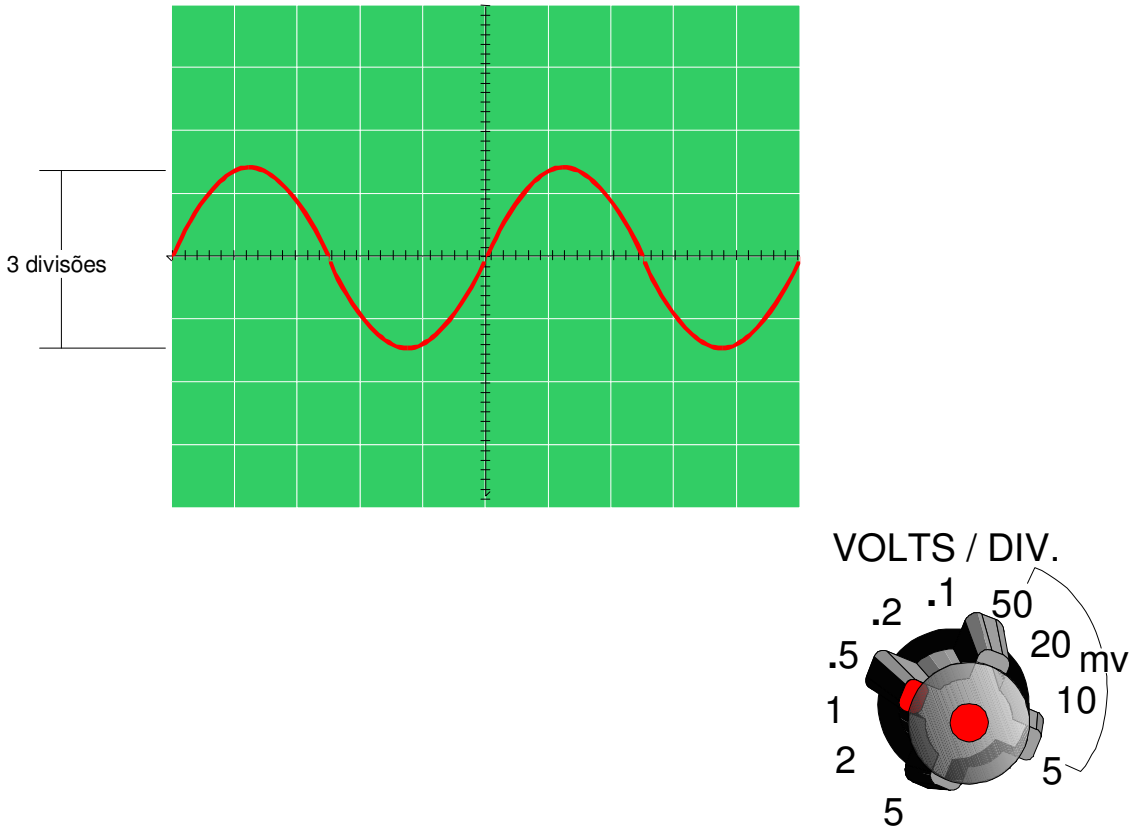


Fig.18 Interpretação da medição.

Quando o osciloscópio dispõe de um ajuste fino de ganho vertical, este deve ser calibrado antes da execução da medição.

POSICIONAMENTO ADEQUADO PARA A LEITURA

Com o objetivo de tornar mais fácil e precisa a leitura do número de divisões ocupadas na tela, pode-se movimentar verticalmente a figura, usando o controle de posição vertical.

Este procedimento permite posicionar um dos picos da CA sobre uma linha de referência sem modificar a sua amplitude, como mostrado na **Fig.19**.

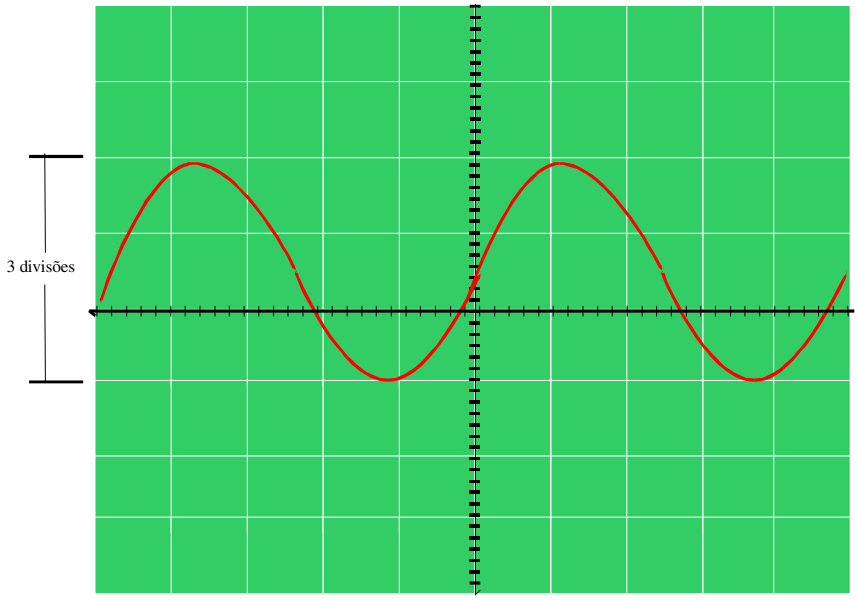


Fig.19 Ajuste vertical da figura.

Dispondo de uma linha de referência, a leitura da amplitude em número de divisões torna-se mais fácil.

Pode-se também movimentar horizontalmente a figura (controle de posição horizontal - H.Position) sem prejuízo para a leitura.

Isto possibilita colocar o pico da tensão exatamente sobre o eixo vertical principal, facilitando a leitura, conforme ilustrado na **Fig.20**.

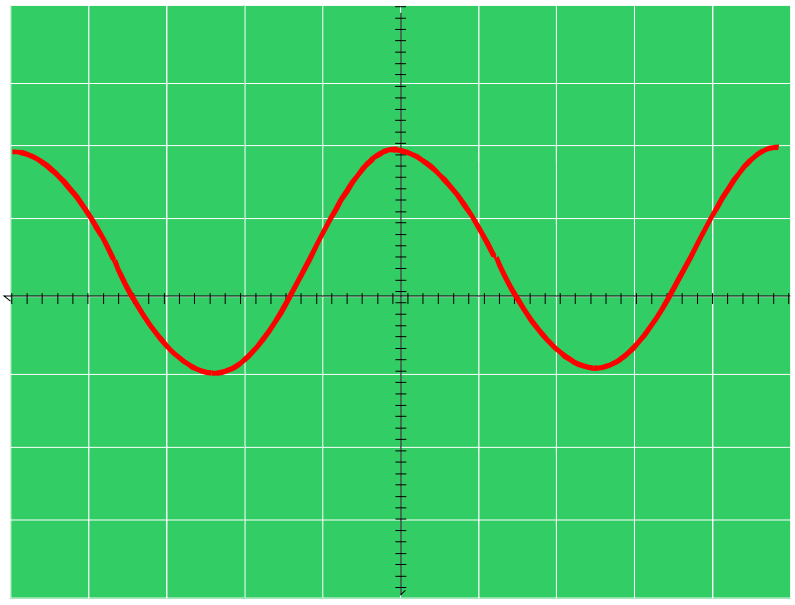
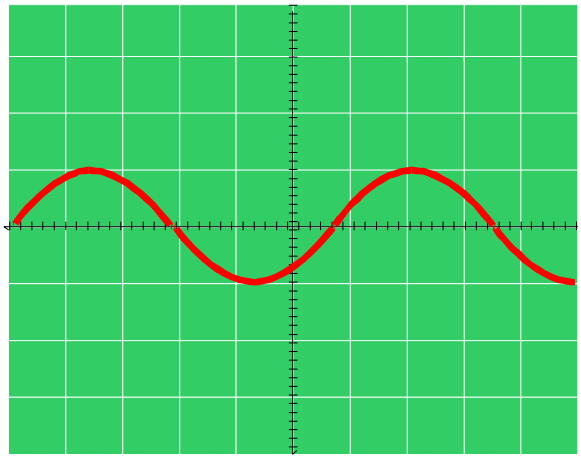
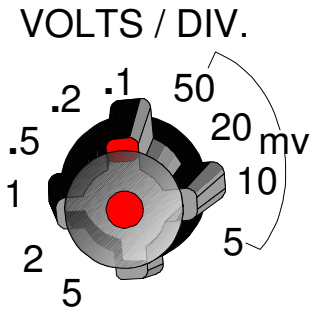


Fig.20 Ajuste horizontal da figura.

Exemplo 1:

Determine a tensão de pico a pico e eficaz para a tensão CA da figura abaixo. Considere a chave seletora na posição **.**1.





Solução

$$2 \text{ divisões} \times 0{,}1\text{V/DIV} = 200\text{m}V_{pp}$$

Para se determinar a tensão eficaz do sinal observado na tela, usam-se as relações matemáticas correspondentes a cada tipo de sinal.

Como a tensão de pico a pico (obtida na tela) é o dobro da tensão de pico ($V_{pp} = 2V_p$) a tensão eficaz (V_{ef}) a partir da tensão de pico a pico é:

$$V_{ef} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}} = \frac{200}{2{,}828} = 71\text{mV} \qquad (1)$$

QUESTIONÁRIO

1. Cite as três etapas de preparação para a medição de tensão CC com o osciloscópio.

2. Cite as três etapas do processo de medição da tensão CA com o osciloscópio.

Medição de freqüência com osciloscópio

O osciloscópio pode ser utilizado para determinação da freqüência de um sinal elétrico. Isto é possível devido ao fato de que o período de uma CA pode ser determinado através de um osciloscópio.

RELAÇÃO ENTRE PERÍODO E FREQÜÊNCIA

Freqüência (f) é o número de ciclos completos de um fenômeno repetitivo que ocorre na unidade de tempo.

Freqüência é o número de ciclos completos em 1s.

Período (T) é o tempo necessário para que ocorra um ciclo completo de um fenômeno repetitivo.

Período é o tempo de ocorrência de 1 ciclo.

A freqüência e o período de um fenômeno estão intimamente relacionados. O relacionamento entre as duas grandezas é expresso pela equação:

$$f = \frac{1}{T} \qquad (1)$$

A equação mostra que quando a freqüência aumenta o período diminui e vice-versa. Uma vez conhecido o período de um sinal a equação permite que se determine sua freqüência.

Através da observação de sinais elétricos na tela do osciloscópio pode-se determinar o seu período e, portanto, calcular a sua freqüência.

DETERMINAÇÃO DO PERÍODO DE UM SINAL

O eixo horizontal do osciloscópio é denominado de **eixo dos tempos** porque através das suas divisões pode-se determinar o período de formas de onda alternadas.

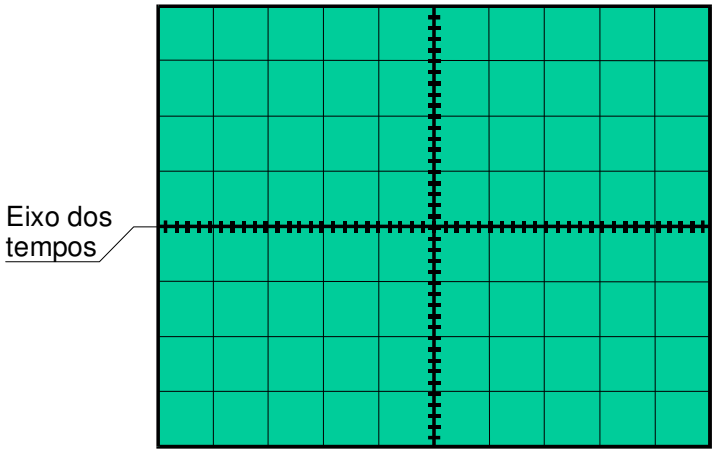


Fig.5 Eixos dos tempos.

Para que o período de uma CA possa ser determinado com precisão, o controle de ajuste fino da base de tempo tem que ser mantido na posição CALIBRADO. Quanto menor o número de ciclos projetados na tela, mais precisa pode ser a leitura de período com o osciloscópio. Se o ajuste fino da base de tempo não é calibrado a determinação do período estará incorreta.

O sinal alternado cuja freqüência se deseja determinar é aplicado a um dos canais do osciloscópio, projetado na tela e sincronizado.

O ajuste da base de tempo através da chave seletora possibilita a compreensão ou expansão da forma de onda na tela de forma que se obtenha uma figura adequada a observação e leitura do período.

Quanto menor o número de ciclos projetados na tela, mais precisa poderá ser a determinação do período.

Na determinação de um período com um osciloscópio, deve-se ajustar a base de tempo na posição calibrado.

O ideal é conseguir projetar apenas um ciclo da CA na tela, com auxílio apenas da chave seletora da base de tempo, uma vez que o ajuste fino tem que estar calibrado.

Como isto nem sempre é possível, procura-se obter o menor número de ciclos possível.

Com a CA projetada na tela deve-se estabelecer um ponto na figura que será considerado como início do ciclo e posicioná-lo exatamente sobre uma das divisões do eixo horizontal.

A **Fig.6** mostra uma CA projetada na tela do osciloscópio, ilustrando o ponto escolhido como **início do ciclo**.

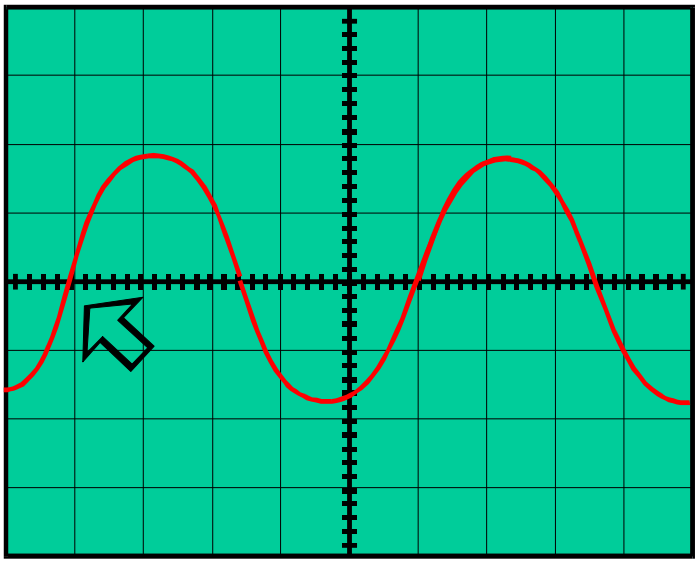


Fig.6 Indicação do início de um ciclo.

Com o início do ciclo posicionado, verifica-se o número de divisões do eixo horizontal ocupado pelo ciclo completo.

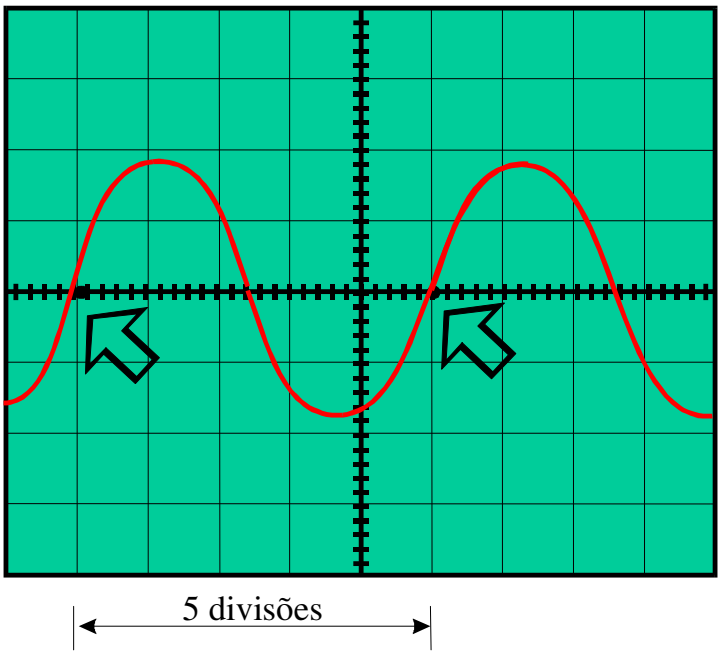


Fig.7 Indicação do fim de um ciclo.

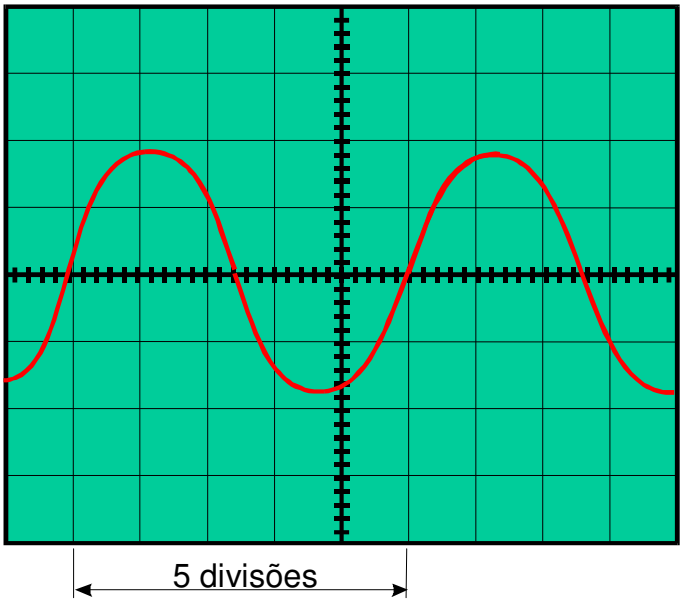
A figura pode ser movimentada vertical ou horizontalmente na tela (controles de posição) sem prejuízo para a leitura

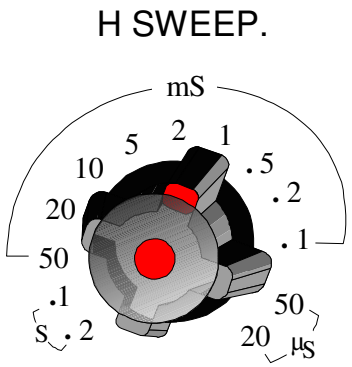
Conhecendo-se o tempo de cada divisão horizontal e o número de divisões horizontais ocupados por um ciclo da CA, pode-se determinar o período desta CA.

O período de um sinal CA pode ser determinado multiplicando-se o número de divisões horizontais de um ciclo lido na tela de um osciloscópio pelo tempo de uma divisão fornecido pela posição da chave seletora da base de tempo.

Exemplo 1:

Determinar o período e a frequência da CA senoidal da figura abaixo.





Solução :

Como o período (T) é o número de divisões multiplicado pelo tempo de 1 divisão, tem-se que :

$$T = 5{,}0 \times 1\text{ms} = 5\text{ ms.}$$

Com o período determinado, pode-se calcular a freqüência (f) do sinal através da **Eq.(1)** :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}005} = 200\text{Hz}$$

Em resumo, a determinação de freqüência é feita segundo os procedimentos a seguir:

- Posicionar o ajuste fino de base de tempo em CALIBRADO.
- Projetar a CA na tela e sincronizar.
- Obter o menor número possível de ciclos na tela.
- Determinar o período.
- Calcular a freqüência (f=1/T).

QUESTIONÁRIO

1. Qual a função da chave seletora da base de tempo de um osciloscópio ?

2. Como se determina o período de um sinal CA com um osciloscópio ?

Capacitor

O capacitor é um componente capaz de armazenar cargas elétricas, sendo largamente empregado nos circuitos eletrônicos.

Um capacitor se compõe basicamente de duas placas de material condutor, denominadas de armaduras, isoladas eletricamente entre si por um material isolante chamado dielétrico, como pode ser visto na **Fig.1**.

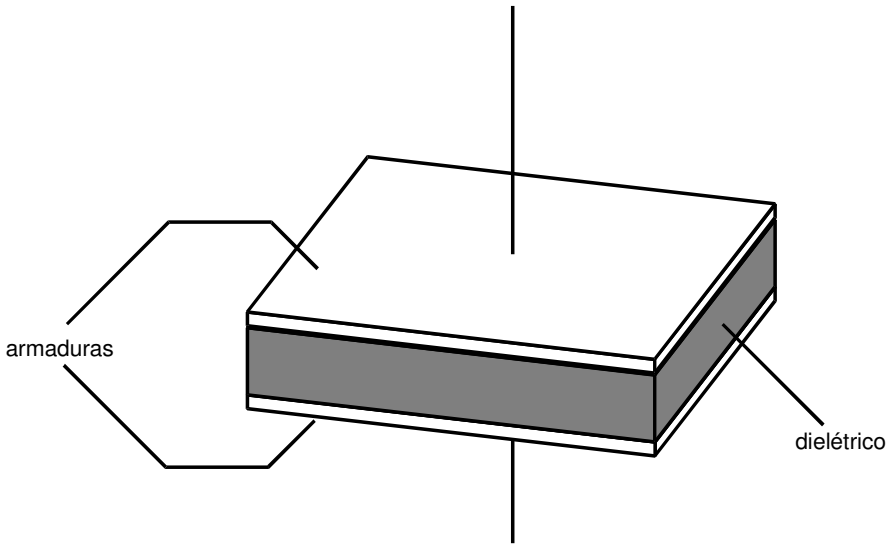


Fig.1 Constituição de um capacitor.

O material condutor que compõe as armaduras de um capacitor é eletricamente neutro no seu estado natural.

Em cada uma das armaduras, o número total de prótons e elétrons é igual, portanto as placas não têm potencial elétrico.

Não existindo potencial elétrico em cada uma das armaduras, não há diferença de potencial ou tensão entre elas, conforme ilustrado na **Fig.2**.

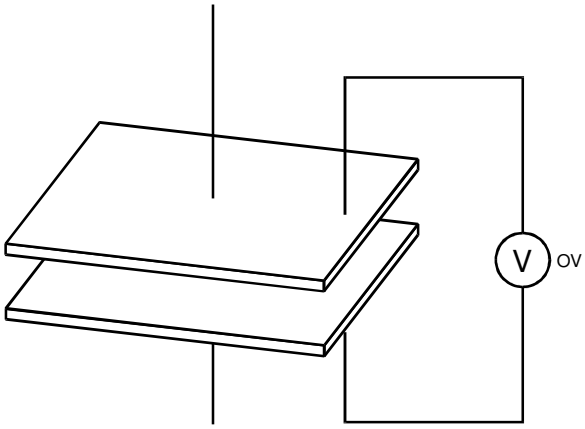


Fig.2 Diferença de potencial zero.

O fenômeno de armazenamento de cargas pelo capacitor pode ser compreendido mais facilmente analisando o movimento de elétrons no circuito. Por esta razão será utilizado o **sentido eletrônico** da corrente elétrica no desenvolvimento do assunto.

Conectando-se os terminais do capacitor a uma fonte de CC, o capacitor fica sujeito à diferença de potencial dos pólos da fonte.

O potencial da bateria aplicado a cada uma das armaduras faz surgir entre elas uma força **elétrica**, que nada mais é do que uma força de atração (cargas de sinal diferente) ou repulsão (cargas de mesmo sinal) entre cargas elétricas.

O pólo positivo da fonte absorve elétrons da armadura à qual está conectado enquanto o pólo negativo fornece elétrons à outra armadura, como ilustrado na **Fig.3**.

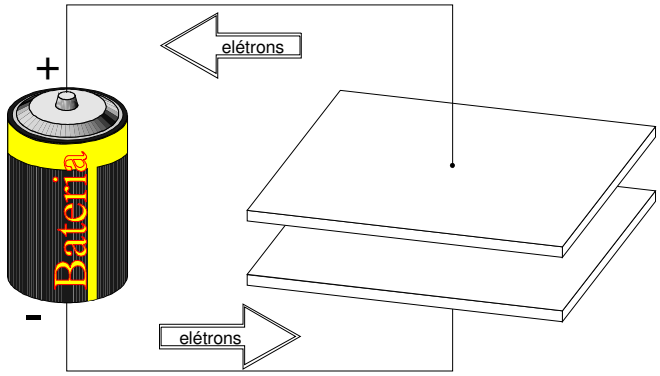


Fig.3 Absorção de elétrons da armadura no polo positivo e fornecimento de elétrons do negativo à armadura.

A armadura que fornece elétrons à fonte fica com íons positivos adquirindo um potencial positivo e a armadura que recebe elétrons da fonte fica com íons negativos, adquirindo potencial negativo, conforme ilustrado na **Fig.4**.

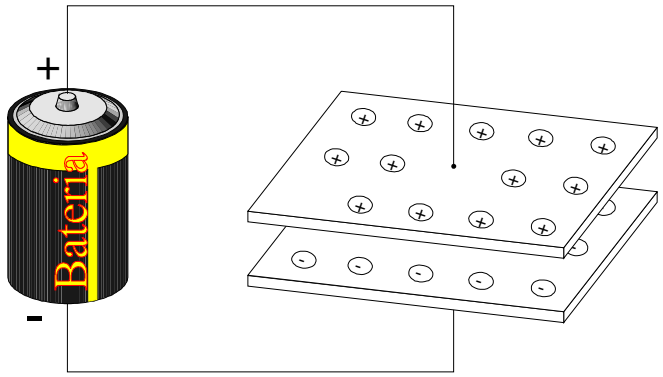


Fig.4 Cargas em um capacitor conectado a uma fonte.

Isto significa que ao conectar o capacitor a uma fonte de CC, surge uma diferença de potencial entre as suas armaduras.

A tensão presente nas armaduras do capacitor terá um valor tão próximo ao da tensão da fonte que, para efeitos práticos, pode-se considerá-las iguais, como indicado na **Fig.5**.

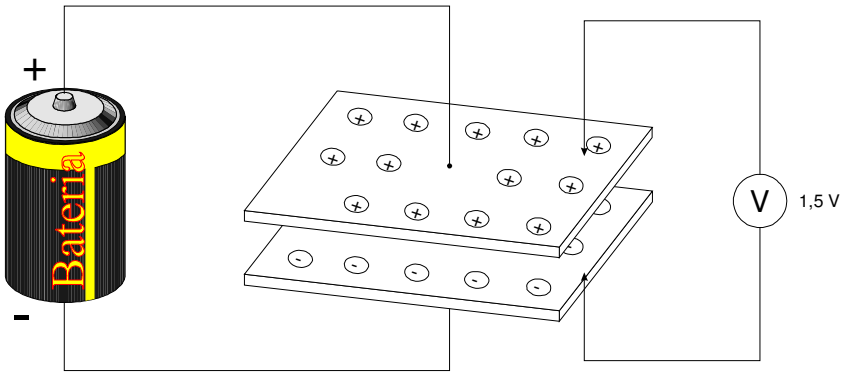


Fig.5 Tensão das armaduras igual à tensão da fonte.

Um capacitor conectado diretamente a uma fonte de alimentação apresenta entre suas armaduras uma tensão que pode ser considerada igual à da fonte.

Quando o capacitor assume a mesma tensão da fonte de alimentação, diz-se que o capacitor está **carregado**.

Se após ter sido carregado o capacitor for desconectado da fonte de CC, suas armaduras permanecem com os potenciais adquiridos, como ilustrado na **Fig.6**.

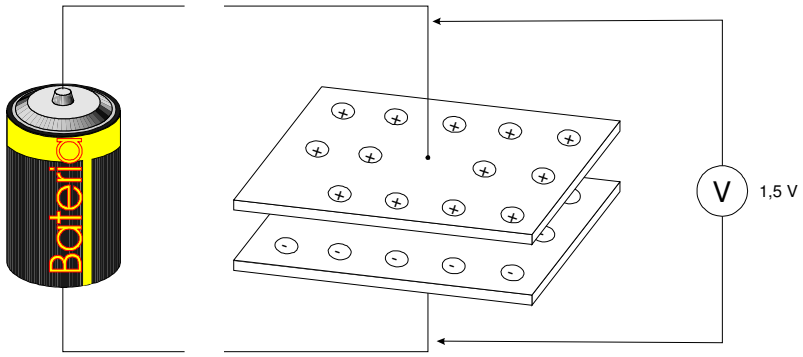


Fig.6 Permanência dos potenciais das armaduras após a fonte CC ser desconectada.

Isto significa dizer que, mesmo após ter sido desconectado da fonte de CC, ainda existe tensão presente entre as placas do capacitor.

Resumindo-se, pode-se dizer que quando um capacitor é conectado a uma fonte de CC, ele absorve energia desta fonte, armazenando cargas elétricas (íons positivos e negativos) nas suas armaduras.

Esta capacidade de absorver e manter a energia em suas armaduras é que define o capacitor como sendo um armazenador de cargas elétricas.

A energia armazenada no capacitor na forma de desequilíbrio elétrico entre suas armaduras pode ser reaproveitada.

DESCARGA DO CAPACITOR

Tomando-se um capacitor carregado e conectando-se seus terminais a uma carga, haverá uma circulação de corrente, pois o capacitor atua como fonte de tensão. Este comportamento pode ser visto na **Fig.7**.

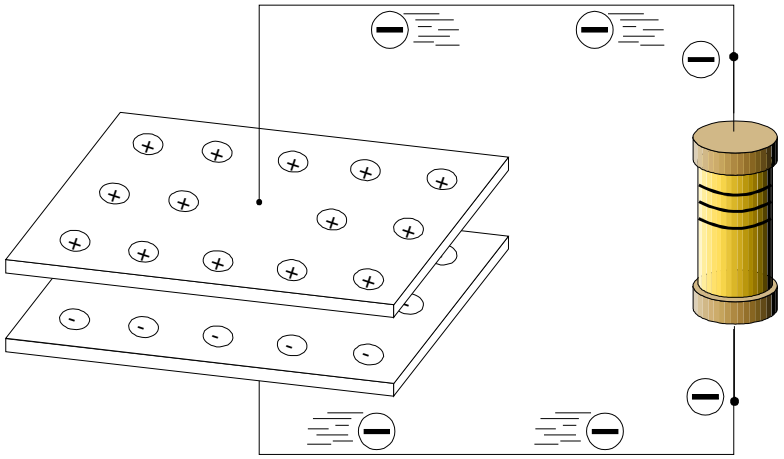


Fig.7 Descarga de um capacitor sobre uma carga (resistor).

Isto se deve ao fato de que através do circuito fechado inicia-se o restabelecimento do equilíbrio elétrico entre as armaduras.

Os elétrons em excesso em uma das armaduras movimentam-se para a outra onde há falta de elétrons, até que se reestabeleça o equilíbrio de potencial entre elas, como ilustrado na **Fig. 8**.

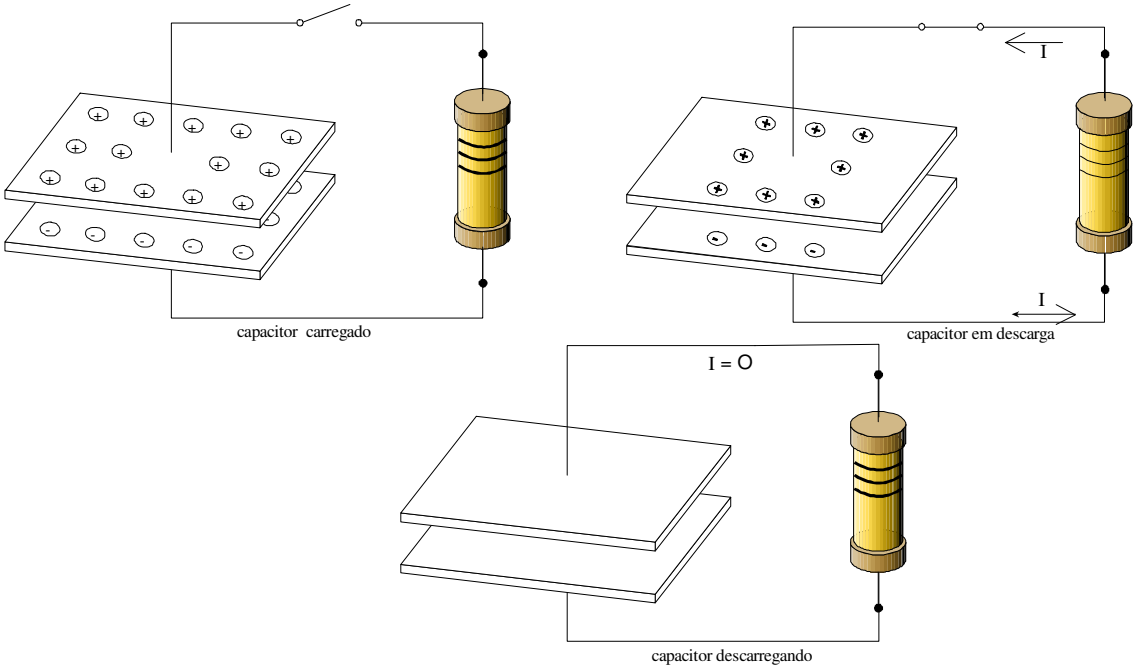


Fig. 8 Elétrons nas armaduras.

Durante o tempo em que o capacitor se descarrega, a tensão entre suas armaduras diminui porque o número de íons restantes em cada armadura é cada vez menor. Após algum tempo, a tensão entre as armaduras é tão pequena que pode ser considerada zero.

Quando um capacitor está em descarga, a tensão entre as suas armaduras diminui até praticamente zero.

Capacitância

A capacidade de armazenamento de cargas de um capacitor depende dos seguintes : área comum entre as armaduras, espessura do dielétrico e natureza do dielétrico.

ÁREA DAS ARMADURAS

Quanto maior a área das armaduras, maior a capacidade de armazenamento de um capacitor.

ESPESSURA DO DIELÉTRICO

Quanto mais fino o dielétrico, mais próximas estão as armaduras. O campo elétrico formado entre as armaduras é maior e a capacidade de armazenamento também.

NATUREZA DO DIELÉTRICO

Quanto maior a capacidade de isolação do dielétrico, maior a capacidade de armazenamento do capacitor.

A capacidade de um capacitor de armazenar cargas é denominada de capacitância. (C) se define sendo a razão entre a carga elétrica a armadura (Q) pela diferença de potencial entre elas (V) :

$$C = \frac{Q}{V} \qquad (1)$$

Quanto maior a capacitância, maior a capacidade de armazenamento de cargas.

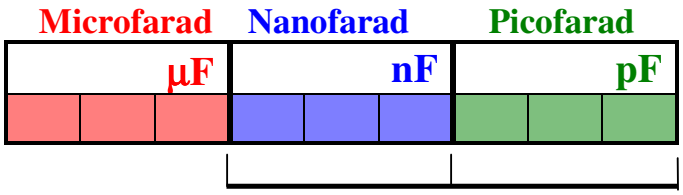
A unidade de medida de capacitância é o **farad** e é representada pela letra **F.** Entretanto, a unidade farad é extremamente grande, o que leva ao uso de submúltiplos dessa unidade.

A **Tabela 1** apresenta os símbolos representativos de cada submúltiplo e o seu valor com relação à unidade.

Tabela 1 Submúltiplos do farad.

Denominação	Símbolo	Relação com a unidade
Microfarad	µF	10^{-6}F ou 0,000001F
Nanofarad	NF	10^{-9}F ou 0,000000001F
Picofarad	PF	10^{-12}F ou 0,000000000001F

A conversão de valores entre as subunidades é feita da mesma forma que as outras grandezas.



Apresentam-se a seguir alguns exemplos de conversão.

1) 1µF é o mesmo que 1.000nF.
2) 22nF é o mesmo que 22.000pF.
3) 68nF é o mesmo que 0,068µF.
4) 150pF é o mesmo que 0,15nF.
5) 820nF é o mesmo que 0,82µF.
6) 1.200pF é o mesmo que 1,2nF.
7) 47.000pF é o mesmo que 47nF.
8) 47.000pf é o mesmo que 0,047µF.

A capacitância é um dos itens que especifica um capacitor.

Tipos de capacitores

Atualmente encontra-se no mercado um grande número de tipos de capacitores, empregando os mais diversos materiais.

Estes capacitores podem ser resumidos em quatro tipos básicos:

- Capacitores fixos despolarizados.
- Capacitores ajustáveis.
- Capacitores variáveis.
- Capacitores eletrolíticos.

A **Fig.9** mostra alguns capacitores na sua forma real.

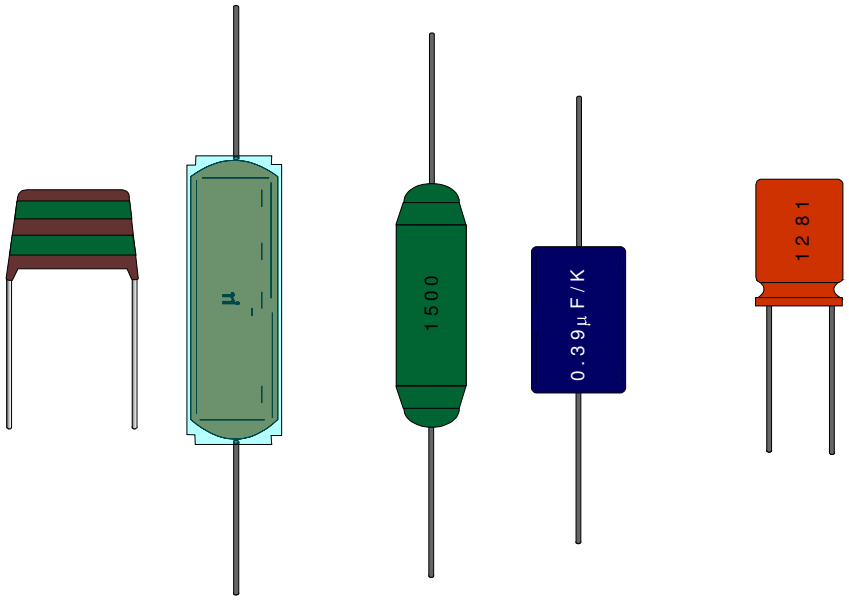


Fig.9 Alguns tipos de capacitores.

CAPACITORES FIXOS DESPOLARIZADOS

Apresentam um valor de capacitância específico, que não pode ser alterado. A **Fig.10** mostra o símbolo usado para representar os capacitores fixos despolarizados.

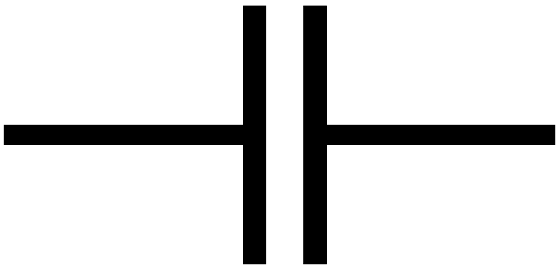
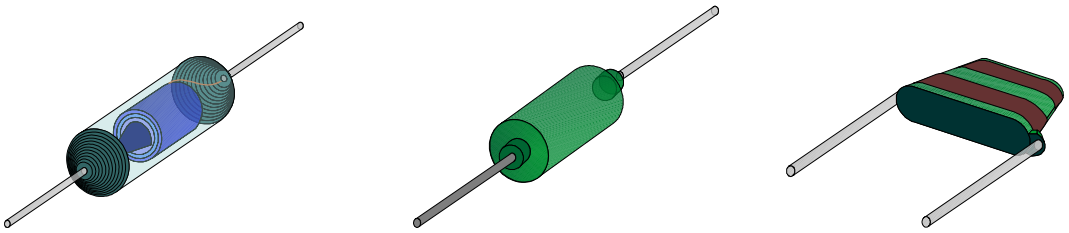


Fig.10 Símbolo dos capacitores fixos despolarizados.

A **Fig.11** mostra diversos tipos de capacitores fixos.



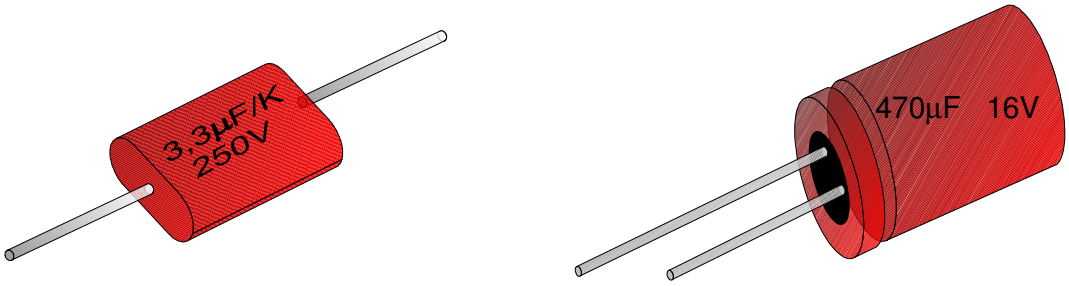
(a) **(b)** **(c)**

Fig.11 Diversos tipos de capacitores fixos : (a) stiroflex, (b) cerâmica e (c) poliester

Estes capacitores se caracterizam por ser despolarizados, ou seja, qualquer uma das suas armaduras pode ser ligada tanto a potenciais positivos como negativos.

Capacitores despolarizados não tem polaridade especificada para ligação.

Alguns capacitores fixos podem apresentar-se na versão axial com os dois terminais nas extremidades ou radial com os dois terminais no mesmo lado do corpo. A **Fig.12** mostra estes dois tipos de capacitores.



a **b**

Fig.12 Capacitor fixo : (a) axial e (b) radial.

De acordo com a necessidade de montagem, pode-se utilizar um ou outro tipo.

CAPACITORES AJUSTÁVEIS

São utilizados nos pontos de calibração dos circuitos. A **Fig.13** mostra um capacitor ajustável típico e o seu símbolo.

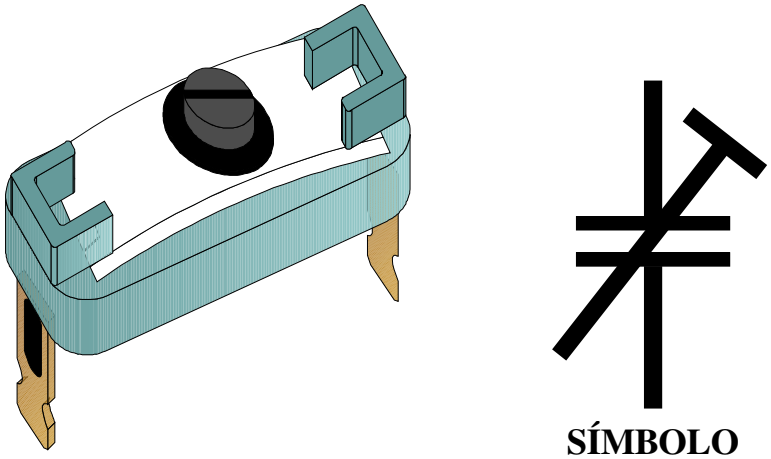


Fig.13 Capacitor ajustável.

Apresentam valor de capacitância ajustável dentro de certos limites, por exemplo 10pF a 30pF.

CAPACITORES VARIÁVEIS

São utilizados em locais onde a capacitância é constantemente modificada.
A **Fig.14** mostra um capacitor variável e o seu símbolo.

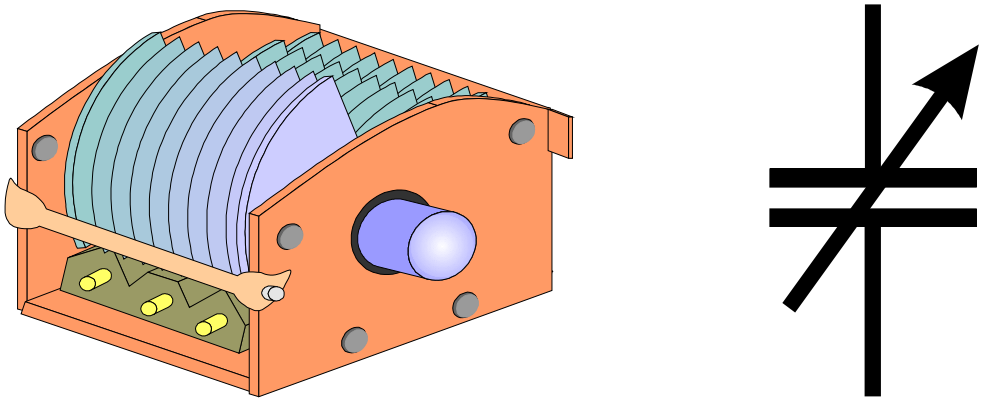


Fig.14 Capacitor variável e seu símbolo.

Encontram-se ainda capacitores variáveis múltiplos que se constituem de dois ou mais capacitores variáveis acionados pelo mesmo eixo. A **Fig.15** mostra um capacitor duplo e seu símbolo.

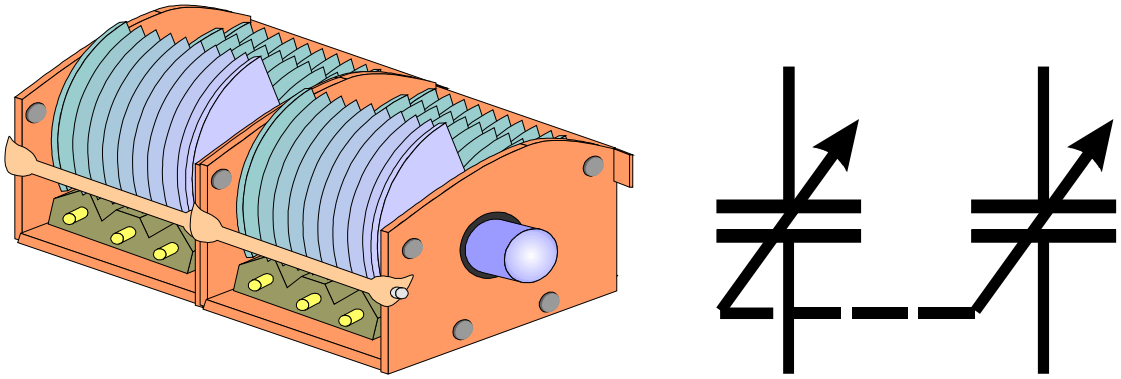


Fig.15 Capacitor duplo e seu símbolo.

A linha pontilhada indica que os dois capacitores têm seu movimento controlado pelo mesmo eixo.

CAPACITORES ELETROLÍTICOS

Os capacitores eletrolíticos são capacitores fixos cujo processo de fabricação permite a obtenção de altos valores de capacitância com pequeno volume.

A **Fig.16** permite uma comparação entre as dimensões de um capacitor eletrolítico e um não eletrolítico de mesmo valor.

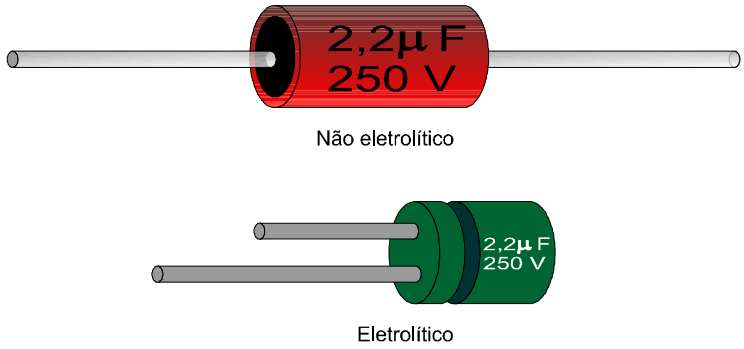


Fig.16 Comparação entre os volumes de um capacitor eletrolítico com um não eletrolítico.

O fator que diferencia os capacitores eletrolíticos dos demais capacitores fixos é o dielétrico. Nos capacitores fixos comuns o dielétrico é de papel, mica ou cerâmica. O dielétrico dos capacitores eletrolíticos é um preparado químico chamado de eletrólito que oxida pela aplicação de tensão elétrica, isolando uma armadura da outra. A utilização do eletrólito permite a redução da distância entre as armaduras a valores mínimos, o que possibilita a obtenção de maiores valores de capacitância (desde 1µF até os valores maiores que 200.000µF). O capacitor é selado em um invólucro de alumínio que isola as armaduras e o eletrólito da ação da umidade.

Os capacitores eletrolíticos apresentam algumas desvantagens que são decorrentes do seu processo de fabricação. São elas:

- Polaridade.
- Alteração de capacitância.
- Tolerância.

POLARIDADE

A formação da camada de óxido entre as placas depende da aplicação de tensão nas armaduras com polaridade correta.

A ligação com polaridade incorreta sobre as armaduras do capacitor provoca a destruição do eletrólito, permitindo a circulação de corrente entre as armaduras. O capacitor sofre um processo de aquecimento que faz o eletrólito ferver, podendo inclusive provocar uma explosão do componente devido à formação de gases no seu interior.

Os capacitores eletrolíticos polarizados são utilizados apenas em circuitos alimentados por corrente contínua. Nos circuitos de corrente alternada a troca de polaridade da tensão danifica o componente.

O símbolo dos capacitores eletrolíticos expressa a polaridade das armaduras, como pode ser visto na **Fig.17**.

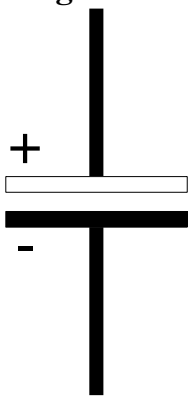
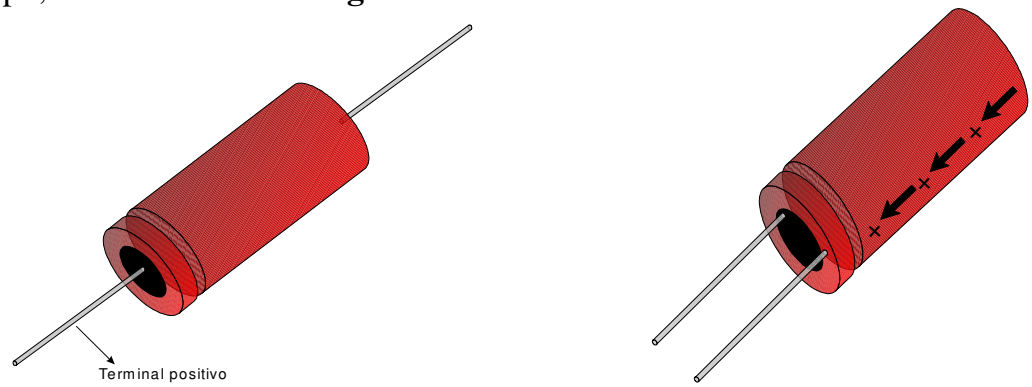


Fig.17 Símbolo dos capacitores eletrolíticos.

No componente, a polaridade é expressa de duas formas: por um chanfro na carcaça, que indica o terminal positivo ou pelo sinal positivo (+) impresso no corpo, como ilustrado na **Fig.18**.



(a) (b)

Fig.18 Indicação da polaridade em capacitor eletrolítico: (a) chanfro na carcaça ou (b) sinal positivo impresso.

ALTERAÇÃO DE CAPACITÂNCIA

O capacitor eletrolítico sofre alteração de capacitância quando não está sendo utilizado. Esta alteração se deve ao fato de que a formação da camada de óxido entre as armaduras depende da aplicação de tensão no capacitor.

Quando o capacitor eletrolítico permanece durante um período sem utilização, o dielétrico sofre um processo de degeneração que afeta sensivelmente a sua capacitância.

Capacitores eletrolíticos que não estão em uso têm a sua capacitância alterada.

Por esta razão, sempre que for necessário utilizar um capacitor que estava estocado durante algum tempo, deve-se conectá-lo a uma fonte de tensão contínua durante alguns minutos para permitir a reconstituição do dielétrico antes de aplicá-lo no circuito.

TOLERÂNCIA

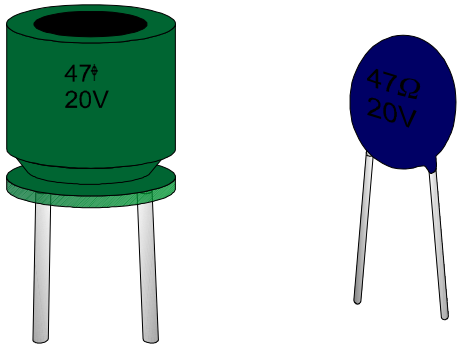
Os capacitores eletrolíticos estão sujeitos a uma tolerância elevada no valor real, com relação ao valor nominal. Esta tolerância pode atingir valores de 20 a 30% e até mesmo 50% em casos extremos.

Os capacitores eletrolíticos têm grande tolerância no seu valor de capacitância.

Existem dois tipos de capacitores eletrolíticos, que estão relacionados com o tipo de dielétrico empregado:

- Capacitor eletrolítico de óxido de alumínio.
- Capacitor eletrolítico de óxido de tântalo.

A **Fig.19** mostra um capacitor eletrolítico de óxido de alumínio e outro de tântalo.



(a) (b)

Fig.19 Capacitores eletrolíticos : (a) óxido de alumínio e (b) óxido de tântalo

Os capacitores eletrolíticos de óxido de tântalo apresentam a seguinte vantagem sobre os eletrolíticos de óxido de alumínio: a capacitância dos capacitores de óxido de tântalo sofre menor variação com o passar do tempo.

Existem ainda os capacitores eletrolíticos múltiplos, que consistem em dois, três ou até mesmo quatro capacitores no mesmo invólucro. A **Fig.20** mostra estes tipos de capacitores.

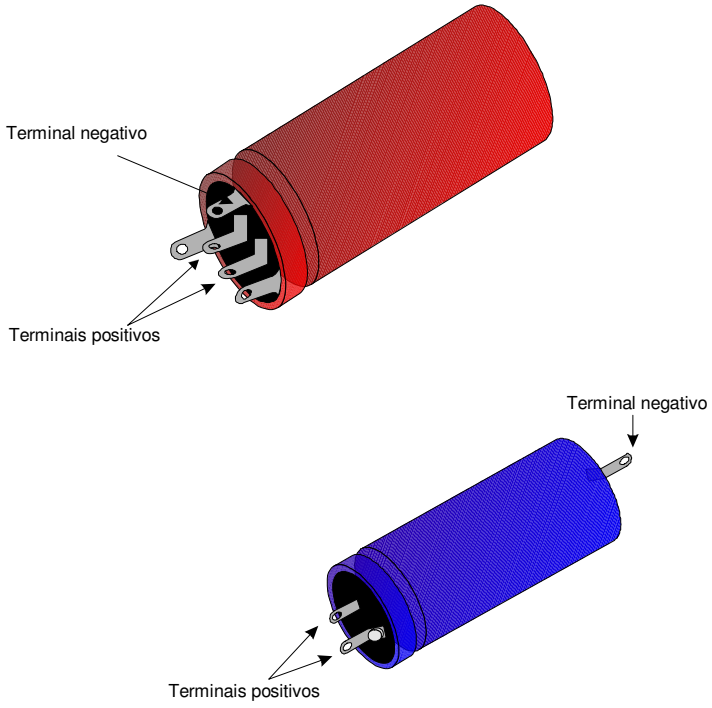


Fig.20 Capacitores eletrolíticos multíplos.

Em geral, nesses capacitores o invólucro externo ou carcaça é comum a todos os capacitores.

Capacitores eletrolíticos como os da **Fig.20**, são muito usados em fontes de alimentação. Os capacitores eletrolíticos múltiplos podem ser representados pelo símbolo mostrado na **Fig.21**.

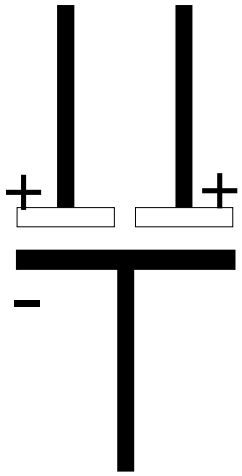


Fig.21 Símbolo dos capacitores eletrolíticos múltiplos.

Comportamento do capacitor em CA

Os capacitores despolarizados podem funcionar em corrente alternada devido ao fato de que cada uma das suas armaduras pode receber tanto potencial positivo como negativo.

Capacitores despolarizados podem ser ligados em CA.

Os capacitores polarizados não podem ser conectados a CA porque a troca de polaridade provoca danos ao componente.

FUNCIONAMENTO DO CAPACITOR EM CA

Quando um capacitor é conectado a uma fonte de corrente alternada as suas armaduras estão submetidas à troca sucessiva de polaridade da tensão aplicada. A **Fig.1** ilustra este fato.

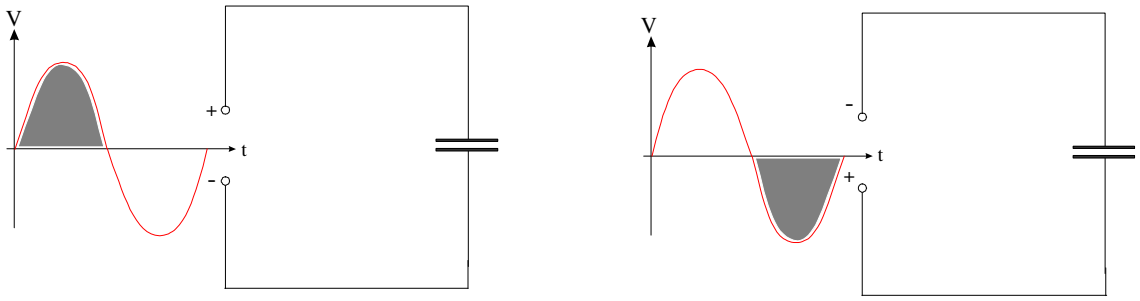


Fig.1 Troca de polaridade das armaduras de um capacitor.

A cada semiciclo, a armadura que recebe potencial positivo entrega elétrons à fonte, enquanto a armadura que está ligada ao potencial negativo recebe elétrons, como ilustrado na **Fig.2**.

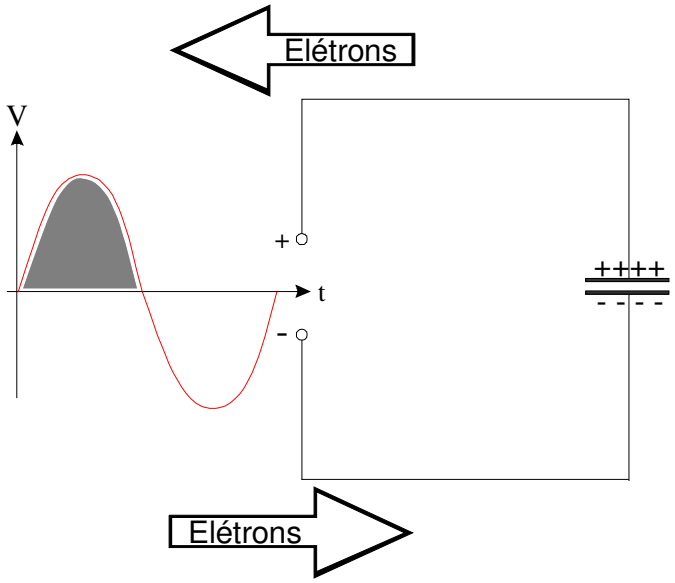


Fig.2 Retirada e entrega de elétrons às armaduras do capacitor.

Com a troca sucessiva de polaridade, uma mesma armadura durante um semiciclo recebe elétrons da fonte e no outro devolve elétrons para a fonte, como mostrado na **Fig.3**.

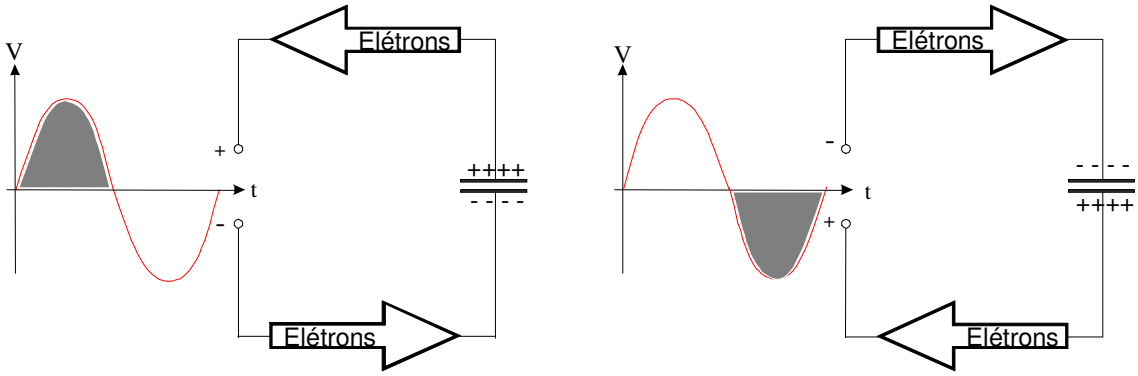


Fig.3 Inversão da polaridade nas armaduras de um capacitor.

Há, portanto, um movimento de elétrons ora entrando, ora saindo da armadura.

Isto significa que circula uma corrente alternada no circuito, embora as cargas elétricas não passem de uma armadura do capacitor para a outra através do dielétrico.

Um capacitor ligado a uma fonte de CA permite a circulação de corrente num circuito.

REATÂNCIA CAPACITIVA

Os processos de carga e descarga sucessivas de um capacitor ligado em CA dá origem a uma resistência à passagem da corrente no circuito. Esta **resistência** é denominada de **reatância capacitiva**.

Reatância capacitiva é a oposição que um capacitor apresenta à circulação de corrente em circuitos de CA.

A reatância capacitiva é representada pela notação X_c e é expressa em ohms.

A reatância capacitiva X_c é expressa pela equação:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times f \times C} \qquad (1)$$

onde

X_c = reatância capacitiva em Ω.

2π = constante (6,28).

f = freqüência da corrente alternada em Hz.

C = capacitância do capacitor em F.

Especificação técnica dos capacitores

Os capacitores são especificados tecnicamente por:

- Tipo.
- Capacitância.
- Tensão de trabalho.

Por exemplo : capacitor de poliester de 0,47µ e 600V e capacitor eletrolítico de 2.200µ e 63V.

APRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS NOS CAPACITORES

A capacitância e a tensão de trabalho dos capacitores é expressa no corpo do componente de duas formas:

- Diretamente em algarismos.
- Através de um código de cores.

A **Fig.22** apresenta alguns capacitores com os valores de capacitância e a tensão de trabalho expressos diretamente em algarismos.

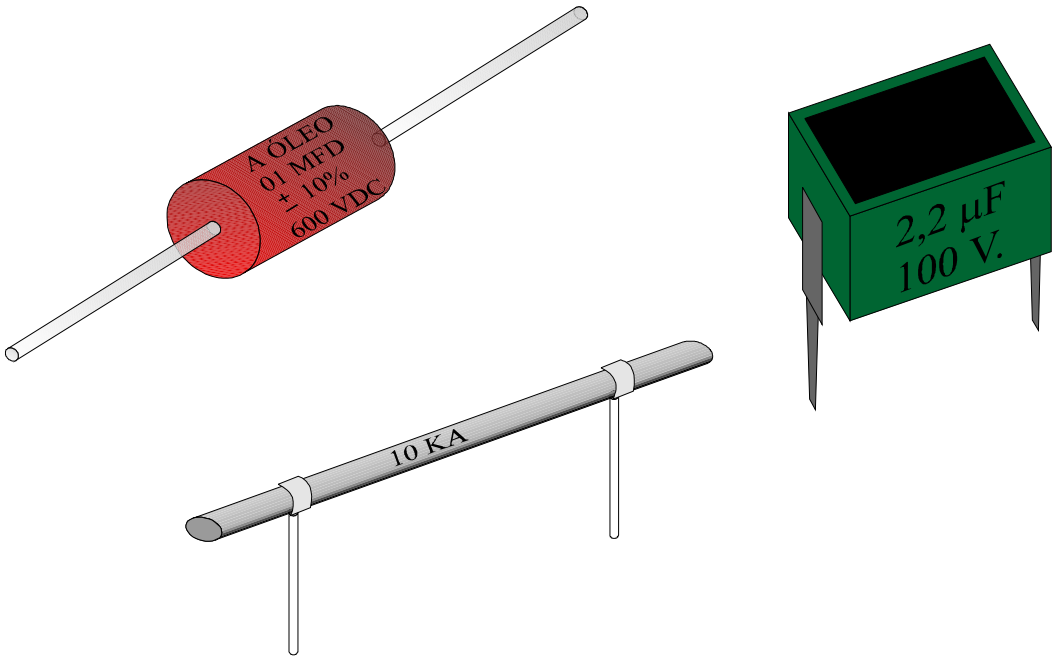


Fig.22 Valores dos capacitores expressos em algarismos.

Os valores são apresentados normalmente em microfarads (µF) ou picorafads (pF).

Quando os capacitores são menores que 1µF, como por exemplo 0,1µF, 0,0047µF ou 0,012µF, o zero que precede a vírgula não é impresso no corpo do componente. Nestes casos aparece diretamente um ponto, que representa a virgula, como ilustrado na **Tabela 2**.

Tabela 2 Valor real e valor impresso no capacitor.

Valor real	Valor impresso
0,1µF	.1µ
0,047µF	.047µ
0,012µF	.012µ
0,68µF	.68µ

CÓDIGO DE CORES PARA CAPACITORES

A **Fig.23** mostra o código de cores para capacitores e a ordem de interpretação dos algarismos.

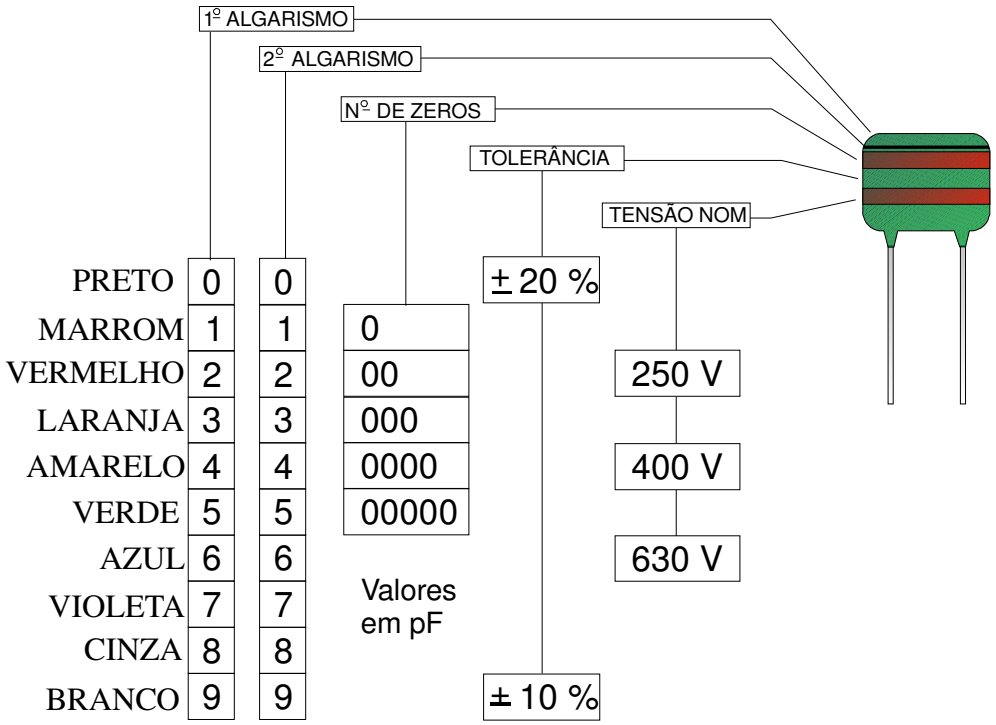


Fig.23 Código de cores para capacitores.

O valor de capacitância expresso pelo código de cores é dado em picofarads (pF).

Exercícios

Especificar os capacitores identificados pelas seguintes cores :

a) Amarelo - Violeta - Laranja - Branco –Azul

b) Laranja - Branco - Amarelo - Branco - Vermelho

Solução

(a) 47nF, ± 10%, 630V

(b) 0,39 μF, ± 10%, 250V

TESTE DE ISOLAÇÃO DO CAPACITOR

Um capacitor em condições normais apresenta entre suas armaduras resistência infinita (isolação) não permitindo assim circulação de corrente.

Mas, quando o dielétrico sofre degeneração, a resistência entre as armaduras diminui permitindo a circulação de uma pequena corrente denominada de corrente de fuga.

Quando se deseja verificar as condições do capacitor quanto à resistência de isolação entre as armaduras utiliza-se normalmente o ohmímetro.

A escolha da escala de ohmímetro depende do valor de capacitância do capacitor a ser testado, conforme ilustrado na **Tabela 3**.

Tabela 3 Teste de isolação de capacitores.

Capacitância	Escala
até 1μF	x10.000
de 1μF a 100μF	x 1.000
acima de 100μF	x 10 ou x1

Para valores de capacitância de até 1μF, a escala recomendada é a x10000 e para valores superiores recomenda-se x100 ou x10.

Após selecionada a escala, conectar as pontas de prova do ohmímetro aos terminais do capacitor. Neste momento o ponteiro deflexiona rapidamente em direção ao zero e logo em seguida retorna mais lentamente em direção ao infinito da escala.

Quando o capacitor está com a isolação em boas condições, o ponteiro deve retornar até o infinito da escala. Deve-se inverter as pontas de prova e repetir o teste.

Associação de capacitores

Os capacitores, assim como os resistores podem ser conectados entre si formando uma associação em série, paralela ou mista.

As associações paralela e série são encontradas na prática, as mistas dificilmente são utilizados.

ASSOCIAÇÃO PARALELA DE CAPACITORES

A associação paralela de capacitores tem por objetivo obter maiores valores de capacitância.

A **Fig.8** mostra uma associação paralela de capacitores e sua representação simbólica.

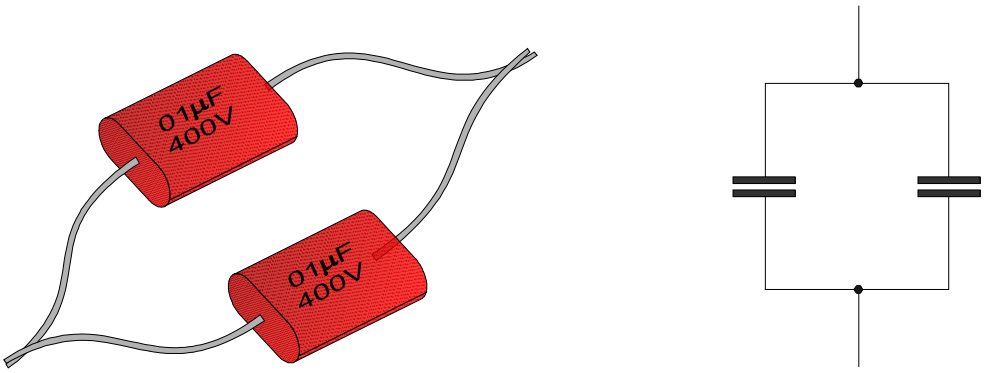


Fig.8 Associação paralela de capacitores.

Esta associação tem características particulares com relação à capacitância total e a tensão de trabalho.

CAPACITÂNCIA TOTAL DA ASSOCIAÇÃO PARALELA

A capacitância total da associação paralela é a soma das capacitâncias individuais.

Matematicamente, a capacitância total de uma associação paralela é dada pela equação:

$$C_T = C_1 + C_2 + \ldots..C_n. \qquad (4)$$

onde

C_T = capacitância total da associação.
C_1 = capacitância de C_1.
C_2 = capacitância de C_2.
C_n = capacitância do capacitor C_n.

Para executar a soma, todos os valores devem ser convertidos à mesma unidade.

Exemplo 3:

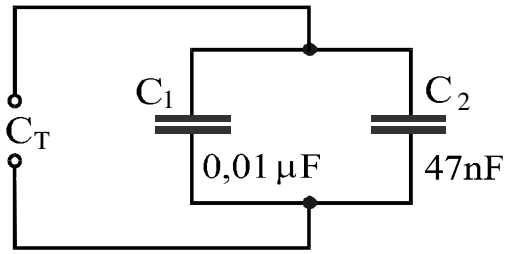
Qual a capacitância total da associação paralela de capacitores mostradas nas figuras abaixo.

Solução :

$C_T = C_1 + C_2$

$C_T = 0{,}01\mu F + 0{,}047\mu F$

$C_T = 0{,}057\mu F$ ou $C_T = 57nF$

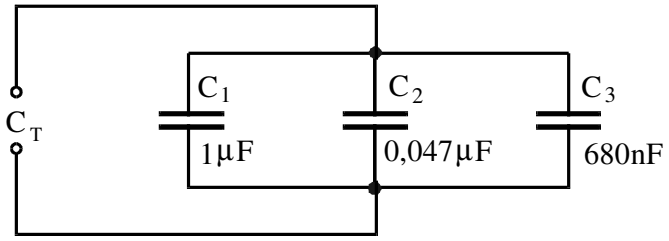


Solução :

$C_T = C_1 + C_2 + C_3$

$C_T = 1\mu F + 0{,}047\mu F + 0{,}68\mu F$

$C_T = 1{,}727\mu F$



TENSÃO DE TRABALHO DA ASSOCIAÇÃO PARALELA

Considere todos os capacitores associados em paralelo da **Fig.9**. Eles recebem a mesma tensão aplicada ao conjunto.

$$V_{c_1} = V_{c_2} = V_{c_3} = 10V$$

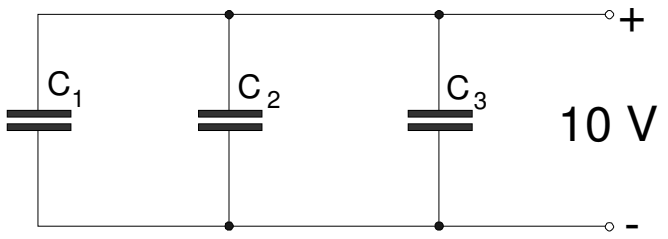
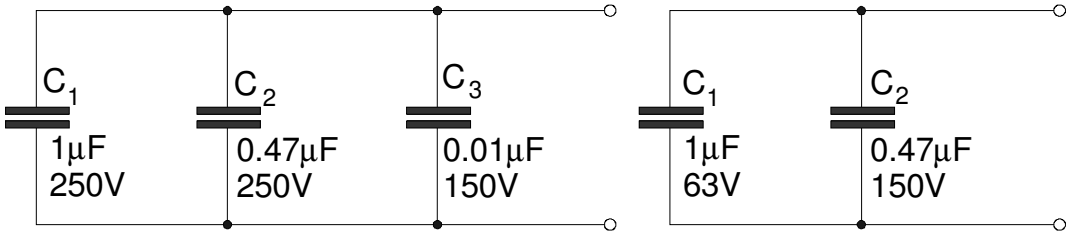


Fig.9 Capacitores em paralelo recebendo a mesma tensão de 10V.

Assim, a máxima tensão que pode ser aplicada a uma associação paralela **é a daquele capacitor que tem menor tensão de trabalho.**

Exemplo 4:

Qual a máxima tensão que pode ser aplicada nas associações apresentadas nas figuras a seguir?



Solução :

As tensões máximas são 150V e 63V, respectivamente.

É importante lembrar ainda dois aspectos:

- Deve-se evitar aplicar a um capacitor a tensão máxima que este suporta.

- Em CA, a tensão máxima é a tensão de pico. Um capacitor com tensão de trabalho de 100 V pode ser aplicado a uma tensão eficaz máxima de 70V (70V eficazes correspondem a uma tensão CA com pico de 100V).

ASSOCIAÇÃO PARALELA DE CAPACITORES POLARIZADOS

Ao se associarem capacitores polarizados em paralelo, os terminais positivos dos capacitores devem ser ligados em conjunto entre si e os negativos da mesma forma, como mostrado na **Fig.10**

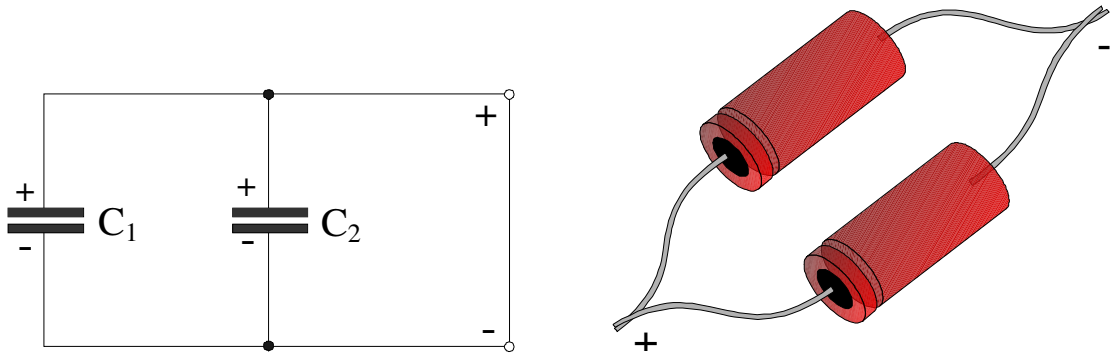


Fig.10 Associação paralela de capacitores polarizados.

Na associação paralela de capacitores: (1) a capacitância total é a soma das capacitâncias individuais, (2) a tensão máxima da associação é a do capacitor com menor tensão de trabalho e (3) ao associarem-se capacitores polarizados, os terminais de mesma polaridade são ligados entre si.

Deve-se lembrar que capacitores polarizados só podem ser utilizados em CC, porque **não há troca de polaridade da tensão**.

ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE CAPACITORES

A associação série de capacitores tem por objetivo obter capacitâncias menores ou tensões de trabalho maiores.

A **Fig.11** mostra uma associação série de dois capacitores e sua representação simbólica.

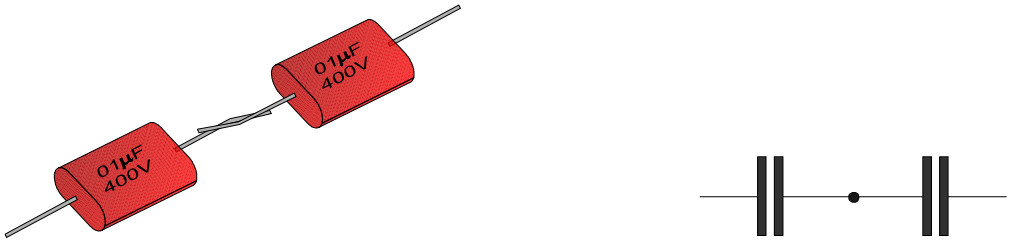


Fig.11 Associação série de capacitores.

CAPACITÂNCIA DA ASSOCIAÇÃO SÉRIE

Quando se associam capacitores em série, a capacitância total é menor que o valor do menor capacitor associado.

A capacitância total de uma associação série é dada pela equação:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... + \frac{1}{C_n}} \qquad (5)$$

Esta equação pode ser desenvolvida (como a equação da resistência equivalente de resistores em paralelo) para duas situações particulares:

ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE DOIS CAPACITORES C_1 E C_2

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} \qquad (6)$$

onde C_T é a capacitância total da associação.

ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE "N" CAPACITORES DE MESMO VALOR

$$C_T = \frac{C}{n} \qquad (7)$$

Para a utilização das equações, todos os valores de capacitância devem ser convertidos para a mesma unidade.

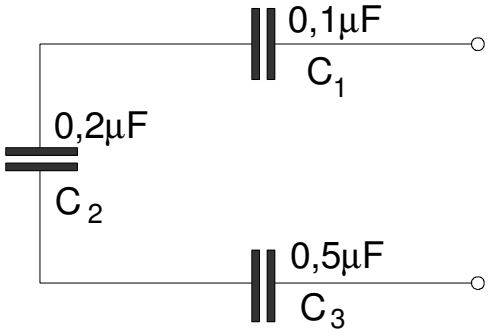
Exemplo 5:

Determinar a capacitância total dos circuitos abaixo

Solução :

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}} = \frac{1}{\frac{1}{0,1}+\frac{1}{0,2}+\frac{1}{0,5}}$$

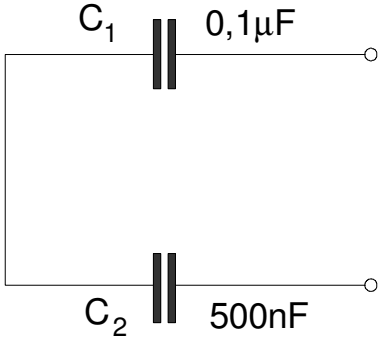
$$C_T = \frac{1}{17} = 0,059\mu F$$



Solução :

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{0,1 \times 0,5}{0,1 + 0,5}$$

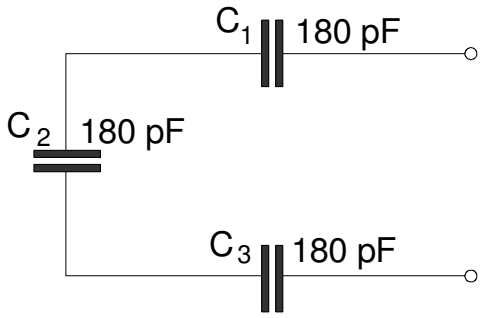
$C_T = 0.083\ \mu F$



Solução :

$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{180}{3}$$

$C_T = 60pF$



TENSÃO DE TRABALHO DA ASSOCIAÇÃO SÉRIE

Quando se aplica uma tensão a uma associação série de capacitores a tensão aplicada se divide entre eles, como ilustrado na **Fig.12**.

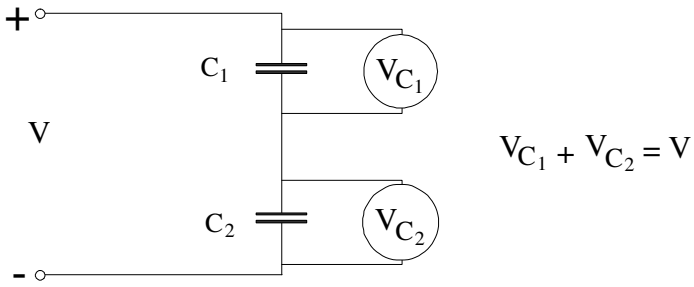


Fig.12 Tensão em uma associação série.

A distribuição da tensão nos capacitores ocorre de forma inversamente proporcional à capacitância, ou seja:

- Uma maior capacitância corresponde a uma menor tensão.
- Uma menor capacitância corresponde a uma maior tensão.

Em uma associação série de capacitores, a tensão se distribui de forma inversamente proporcional à capacitância dos capacitores. O capacitor de menor capacitância fica com a maior parcela da tensão total.

A determinação do valor de tensão em cada capacitor de uma associação série é feita através das equações da eletrostática.

Como forma de simplificação, pode-se adotar um procedimento simples e que evita a aplicação de tensões excessivas a uma associação série de capacitores.

Esse procedimento consiste em se associarem em série capacitores de mesma capacitância e mesma tensão de trabalho.

Desta forma, a tensão aplicada se distribui igualmente sobre todos os capacitores.

A **Fig.13** ilustra este procedimento.

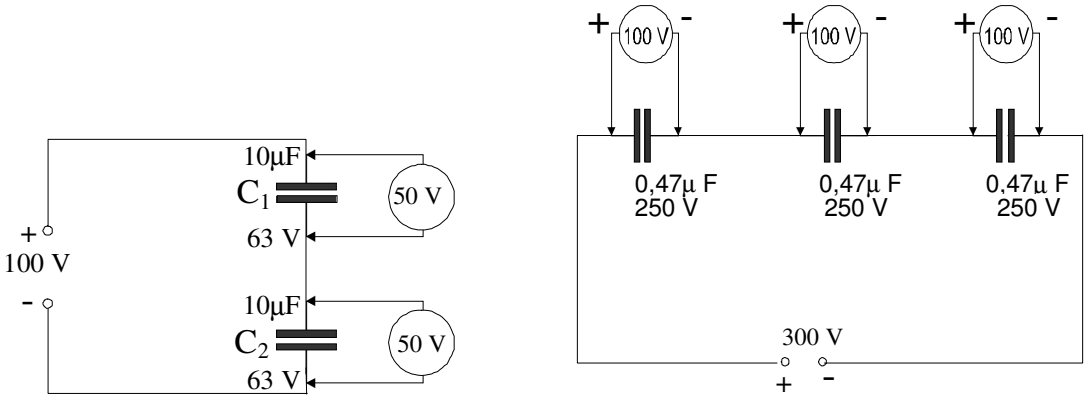


Fig.13 Associação série de capacitores de mesma tensão.

ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE CAPACITORES POLARIZADOS

Ao se associarem capacitores polarizados em série, o terminal positivo de um capacitor é conectado ao terminal negativo do outro, como mostrado na **Fig14**.

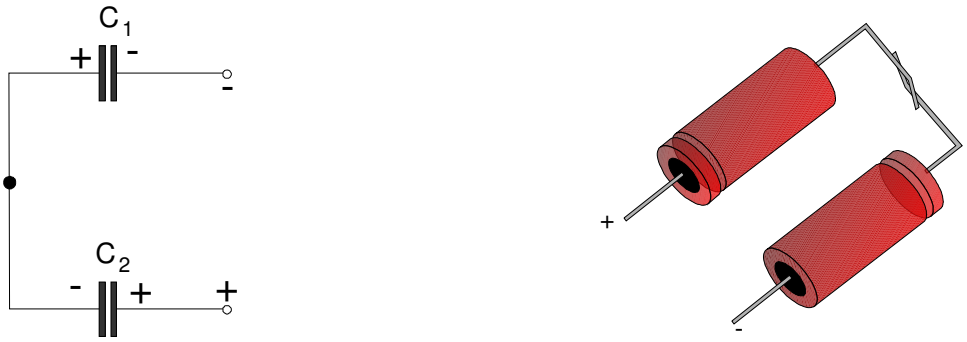


Fig.14 Associação série de capacitores polarizados.

É importante lembrar que capacitores polarizados só podem ser ligados em CC.

Na associação série de capacitores, (1) a capacitância total é sempre menor que a capacitância de menor valor e (2) ao se associarem capacitores polarizados em série, a armadura positiva de um capacitor é conectada à armadura negativa do capacitor seguinte.

QUESTIONÁRIO

1. Quais os tipos de capacitores podem ser ligados em CA ?

2. O que se entende por reatância capacitiva e de que ela depende ?

3. Como se determina a capacitância total de um arranjo de capacitores ligados em paralelo ?

Materiais semicondutores

Alguns materiais apresentam propriedades de condução elétrica intermediárias entre aquelas inerentes aos isolantes e aos condutores. Tais materiais são denominados de **semicondutores.** A característica mais interessante do material semicondutor, e que o torna atrativo do ponto de vista da fabricação de componentes eletrônicos, é a possibilidade de se poder variar substancialmente sua condutividade elétrica pela alteração controlada de sua composição química ou estrutura cristalina.

Um exemplo típico de um elemento químico que pode formar materiais exibindo características elétricas distintas é o **carbono**. Dependendo da forma com que os átomos de carbono se interligam, o material formado pode tornar-se um isolante ou um condutor.

Uma das formas naturais de matéria formada por átomos de carbono arranjados ordenadamente em uma estrutura cristalina é o **diamante**, que é um material de grande dureza e **eletricamente isolante**.

Os átomos de carbono podem também arranjar-se naturalmente em uma estrutura **amorfa** ou **não cristalina**, dando origem ao **grafite** que é um material **semicondutor**.

Nas seções seguintes serão discutidas algumas das características principais associadas aos materiais semicondutores e a forma pela qual esses materiais podem ser utilizados na construção de dispositivos eletrônicos.

CONSTITUIÇÃO QUÍMICA

Os materiais semicondutores mais simples são constituídos de átomos de um único elemento químico com quatro elétrons na camada de valência. Átomos exibindo esta configuração eletrônica são denominados de **átomos tetravalentes**.

A **Fig.1** ilustra a configuração dos átomos tetravalentes de **germânio (Ge)** e **silício (Si)** que dão origem a materiais semicondutores.

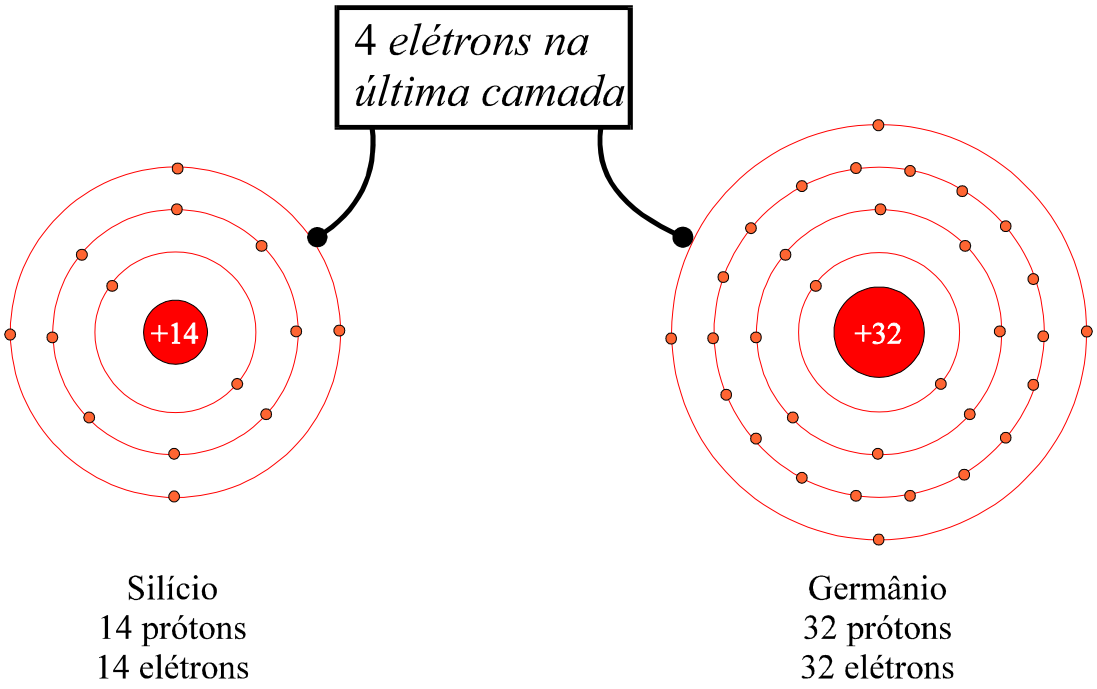


Fig.1 Configuração eletrônica dos átomos de silício e germânio.

Os átomos que têm quatro elétrons na camada de valência tendem a se arranjar ordenadamente na formação do material segundo uma estrutura cristalina com átomos vizinhos compartilhando seus elétrons de valência, conforme ilustrado na **Fig.2**.

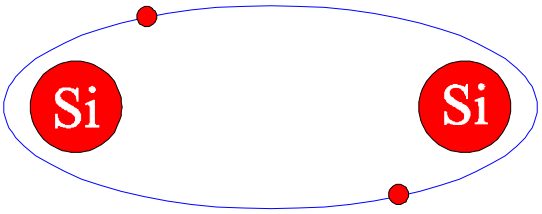


Fig.2 Compartilhamento de elétrons de valência entre dois átomos de silício.

O compartilhamento de elétrons entre átomos tetravalentes em uma estrutura cristalina é ilustrado na **Fig.3a**. Esse tipo de ligação química recebe a denominação de **ligação covalente**, sendo representada simbolicamente por dois traços interligando cada par de núcleos, como mostrado na **Fig.3b**.

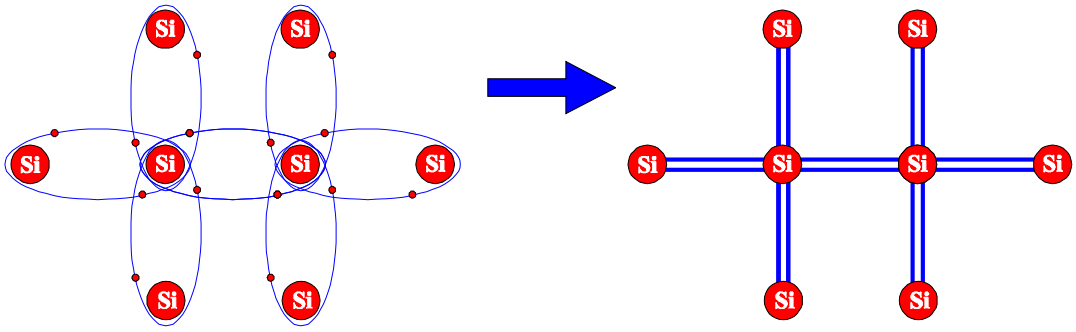


Fig.3 Compartilhamento de elétrons entre átomos ligados covalentemente em uma estrutura cristalina e a representação simbólica correspondente.

Nas ligações covalentes os elétrons permanecem fortemente ligados ao par de núcleos interligados. Por esta razão os materiais formados por estruturas cristalinas puras, compostas unicamente por ligações covalentes, adquirem características de boa isolação elétrica.

Materiais com estruturas cristalinas puras formadas por elementos químicos tetravalentes são bons isolantes elétricos.

Na forma cristalina, o silício e o germânio puros são materiais semicondutores com propriedades elétricas próximas àquelas de um isolante perfeito.

A **Fig.4** mostra uma representação planar do arranjo de átomos tetravalentes em uma rede cristalina, onde cada átomo forma quatro ligações covalentes com seus vizinhos.

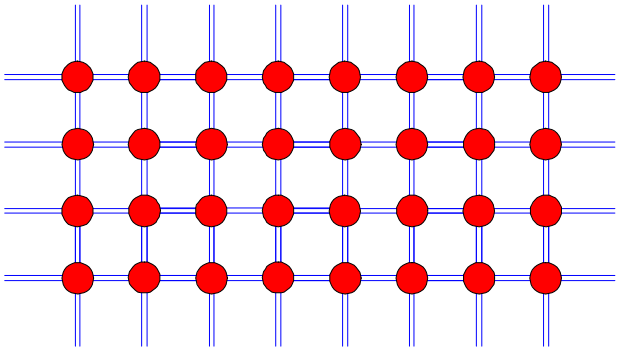


Fig.4 Representação planar de uma rede cristalina de átomos tetravalentes.

A representação ilustrada na **Fig.4** é uma versão simplificada da situação real em que os átomos tetravalentes se arranjam em uma estrutura tridimensional. Essa estrutura tridimensional é ilustrada na **Fig.5**, com os átomos interligados em uma geometria tetraédrica. O tetraedro assim formado sempre contém um átomo central interligado aos seus quatro vizinhos posicionados nos vértices do tetraedro.

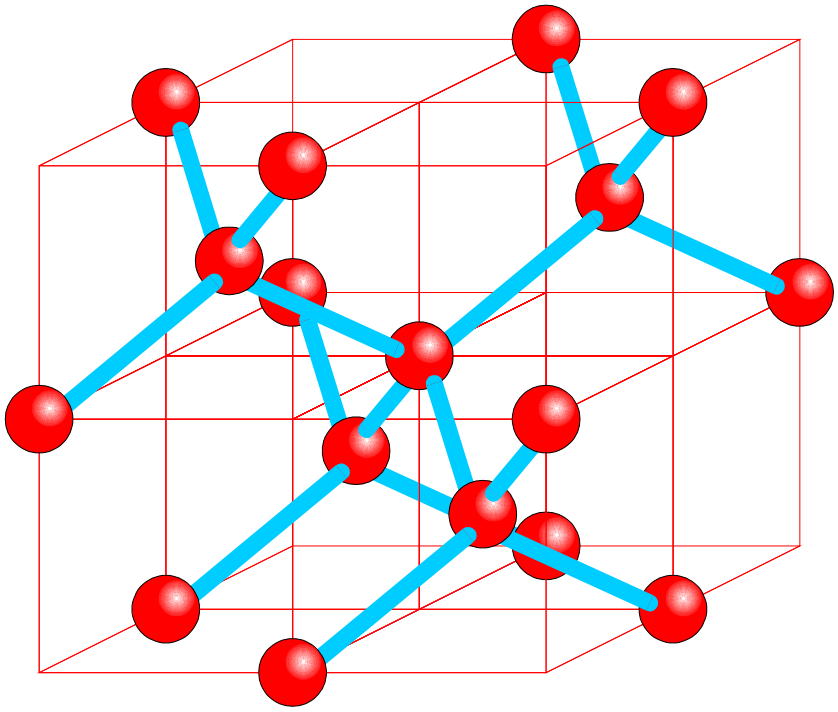


Fig.5 Estrutura tridimensional de uma rede cristalina de átomos tetravalentes.

DOPAGEM

A **dopagem** é um processo químico no qual átomos estranhos são introduzidos na estrutura cristalina de uma substância.

Os materiais encontrados em sua forma natural, geralmente contêm um certo grau de **impurezas** que se instalam durante o processo de formação desses materiais. Essa situação pode ser caracterizada como um processo de **dopagem natural**.

A dopagem pode também ser realizada em laboratório, com o objetivo de introduzir no cristal uma determinada quantidade de átomos de impurezas, de forma a alterar, de maneira controlada, as propriedades físicas naturais do material.

Em um cristal semicondutor a dopagem é geralmente realizada para alterar suas propriedades elétricas. O grau de condutividade bem como o mecanismo de condução do semicondutor dopado irá depender dos tipos de átomos de impureza introduzidos no cristal, como descrito a seguir.

SEMICONDUTOR TIPO *n*

Quando o processo de dopagem introduz na estrutura cristalina do semicondutor uma quantidade de átomos contendo excesso de um elétron de valência relativamente ao número de elétrons da camada mais externa de cada átomo do cristal, forma-se um **semicondutor tipo *n***. Neste processo, uma pequena quantidade dos átomos dopantes introduz apenas ligeiras modificações na estrutura cristalina do semicondutor puro.

Um exemplo típico de formação de um semicondutor tipo *n* ocorre quando átomos de fósforo são introduzidos na estrutura cristalina do silício. Conforme ilustrado na **Fig.6**, apenas quatro dos cinco elétrons de valência do fósforo, podem participar das ligações covalentes com os átomos de silício.

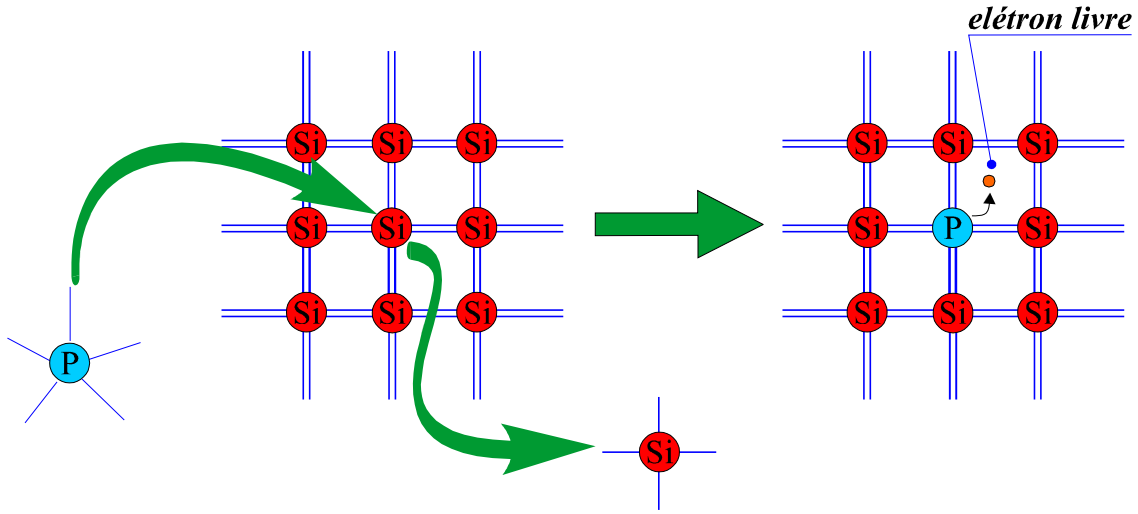


Fig.6 Dopagem de silício com átomo de fósforo.

Como mostrado na **Fig.6**, o quinto elétron de valência do átomo de fósforo não participa de nenhuma ligação covalente, pois não existe um segundo elétron de valência disponível nos átomos vizinhos que possibilite a formação dessa ligação. Esse elétron extra pode, portanto, ser facilmente liberado pelo átomo de fósforo, passando a transitar livremente através da estrutura do cristal semicondutor.

Com a adição de impurezas, e conseqüente aumento no número de elétrons livres, conforme ilustrado na **Fig.7**, o cristal que era puro e isolante passa a ser condutor de corrente elétrica. É importante observar que embora o material tenha sido dopado, o número total de elétrons permanece igual ao número total de prótons no cristal, de forma que **o material continua eletricamente neutro**.

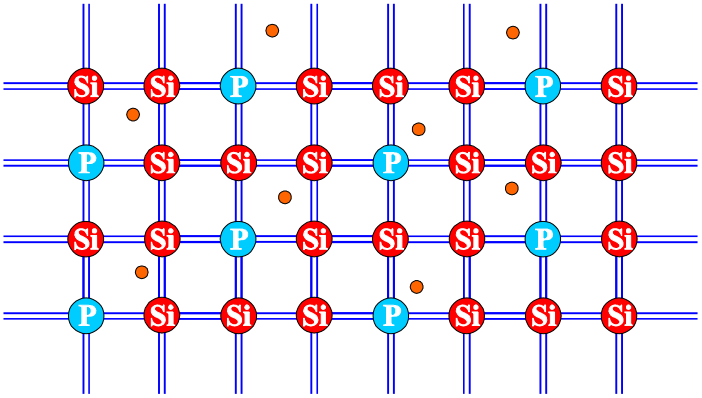


Fig.7 Elétrons livres no silício dopado com fósforo.

O semicondutor dopado com átomos contendo excesso de um ou mais elétrons na camada de valência recebe a denominação de **semicondutor tipo *n***, pois nesses materiais a corrente elétrica é conduzida predominantemente por cargas **negativas**. Essa condução elétrica ocorre independentemente da polaridade da tensão aplicada entre as extremidades do material semicondutor, conforme ilustrado na **Fig.8**.

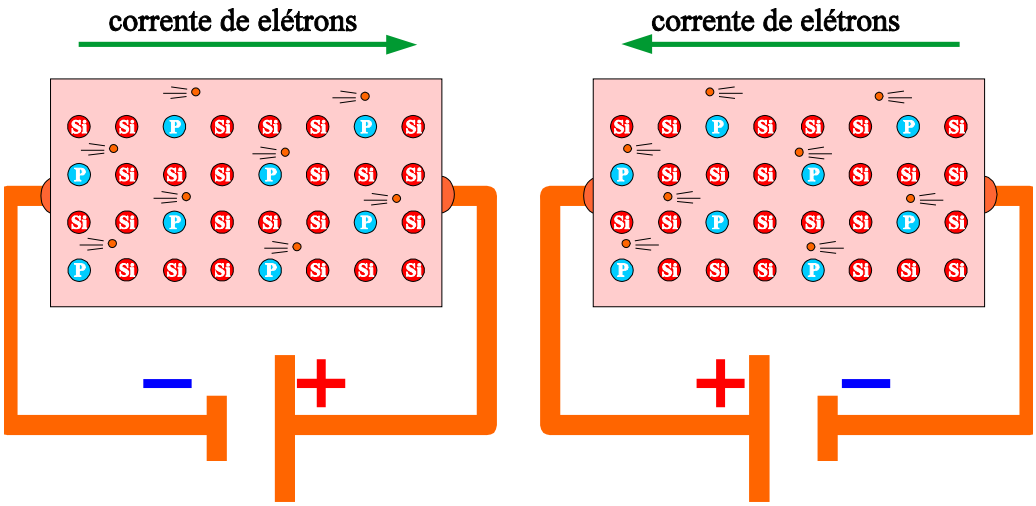


Fig.8 Corrente de elétrons em um semicondutor tipo *n*.

SEMICONDUTOR TIPO *p*

Quando os átomos introduzidos na estrutura cristalina do semicondutor exibem deficiência de um elétron de valência relativamente ao número de elétrons da camada mais externa de cada átomo do cristal, forma-se um **semicondutor tipo *p***.

O átomo de índio, por exemplo, que tem três elétrons na camada de valência, quando utilizado no processo de dopagem do silício dá origem a um semicondutor tipo *p*, conforme ilustrado na **Fig.9**.

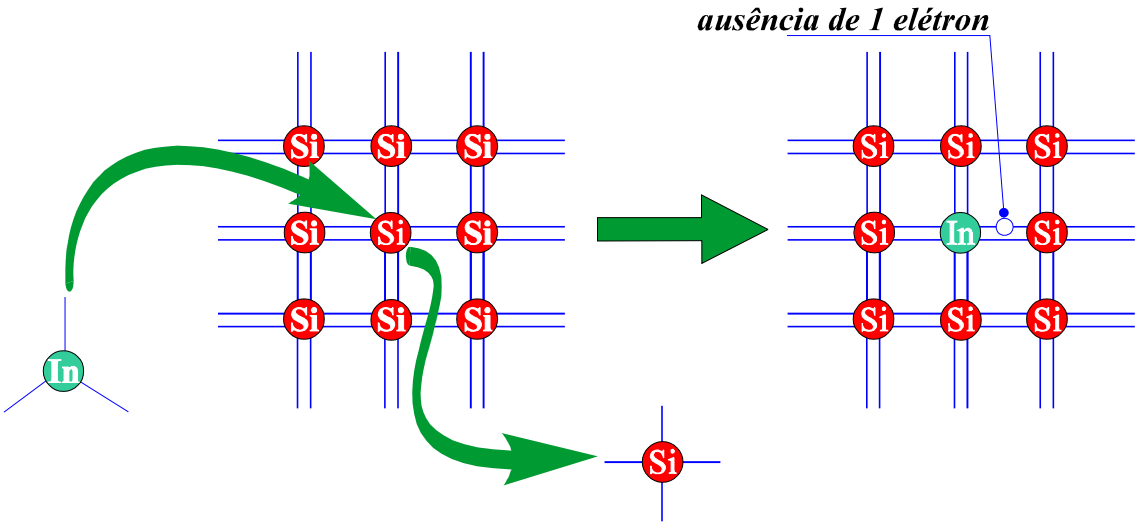


Fig.9 Dopagem de silício com átomo de índio.

Como se pode observar na **Fig.9**, o átomo de índio se acomoda na estrutura cristalina, formando três ligações covalentes com átomos vizinhos de silício. Com respeito à ligação com o quarto átomo de silício, verifica-se a ausência do segundo elétron que comporia o par necessário à formação daquela ligação com o átomo de índio. Essa ausência de elétron de ligação é denominada de **lacuna**.

A existência de lacunas no semicondutor permite que haja um mecanismo de condução distinto daquele observado em um semicondutor tipo *n*. No caso do semicondutor tipo *n,* os elétrons adicionais resultantes do processo de dopagem podem transitar livremente no interior do material. Por outro lado, quando a dopagem produz lacunas no semicondutor, um elétron proveniente de uma ligação covalente só poderá transitar para um ponto do cristal onde haja uma lacuna disponível.

Esse mecanismo de condução está ilustrado na **Fig.10**, onde se considera uma representação de um cristal de silício dopado com átomos de índio submetido a uma ddp.

O movimento de elétrons de valência se dá do pólo negativo para o pólo positivo, pela ocupação de lacunas disponíveis na rede cristalina. Nesse processo, cada elétron torna disponível uma nova lacuna em seu sítio de origem, como pode ser observado na representação da **Fig.10**.

Esse movimento de elétrons equivale portanto, a um movimento de lacunas do pólo positivo para o pólo negativo do material.

Fig.10 **Movimento de lacunas em um semicondutor sujeito a uma ddp.**

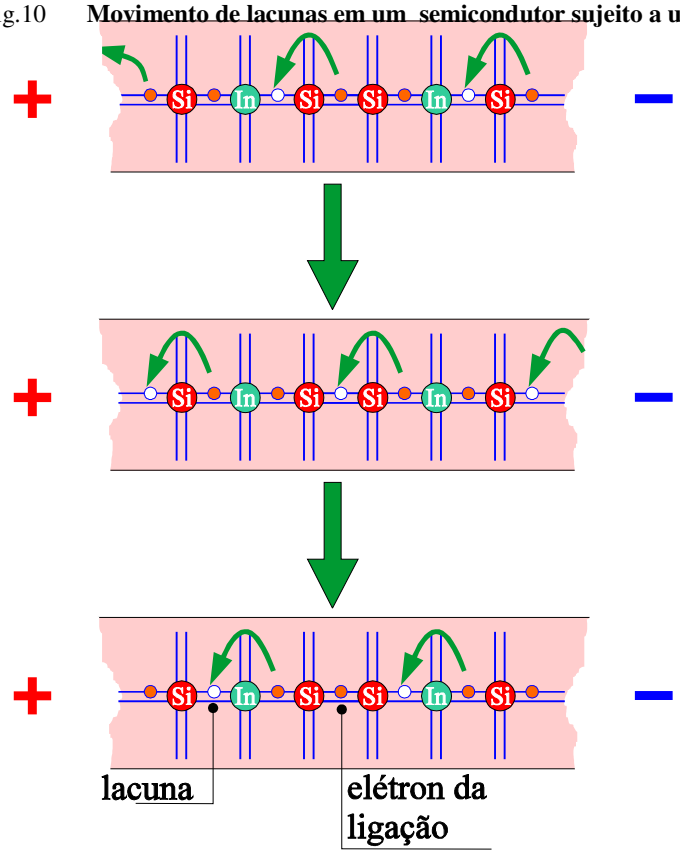


Fig.10 Movimento de lacunas em um semicondutor sujeito a uma ddp.

De acordo com esse ponto de vista, as lacunas em um semicondutor dopado se comportam efetivamente como cargas positivas que podem transitar em um cristal quando este está submetido a uma tensão externamente aplicada.

O semicondutor dopado com átomos contendo deficiência de um ou mais elétrons na camada de valência recebe a denominação de **semicondutor tipo *p***, pois nesses materiais a corrente elétrica é conduzida predominantemente por lacunas que se comportam como portadores de carga **positiva** durante o processo de condução elétrica.

Como no processo de condução elétrica de um semicondutor tipo *n*, o movimento de lacunas em um semicondutor tipo *p*, submetido a uma ddp, ocorre independentemente da polaridade da tensão aplicada entre as extremidades do material.

Analisando-se as propriedades básicas de semicondutores dopados, nota-se que o número de elétrons em um semicondutor tipo *n*, ou lacunas em um semicondutor tipo *p*, cresce com o aumento do número de átomos de impurezas introduzidas no cristal. Com o aumento do número de portadores de carga, aumenta a condutividade elétrica do material. Dessa forma, torna-se possível alterar de forma controlada a condutividade elétrica de um semicondutor, efetuando-se a dosagem adequada da quantidade de dopagem do cristal durante a etapa de fabricação.

Essa característica de controle externo de condutividade possibilita o uso de cristais semicondutores como matéria prima na fabricação de componentes eletrônicos, incluindo diodos, transistores, circuitos integrados etc., bem como na construção de dispositivos optoeletrônicos, tais como fotodetetores, diodos emissores de luz e lasers semicondutores.

A condutividade elétrica de um semicondutor pode ser controlada pela dosagem adequada da quantidade de dopagem do cristal, durante a etapa de fabricação.

PROPRIEDADES TÉRMICAS

A temperatura exerce influência direta sobre as propriedades elétricas de materiais semicondutores. Quando a temperatura de um material semicondutor aumenta, o aumento de energia térmica do elétron de valência facilita a sua liberação da ligação covalente de que participa. Cada ligação covalente que se desfaz por esse processo propicia, portanto, a geração de um par elétron/lacuna a mais na estrutura do cristal, conforme ilustrado na **Fig.11**.

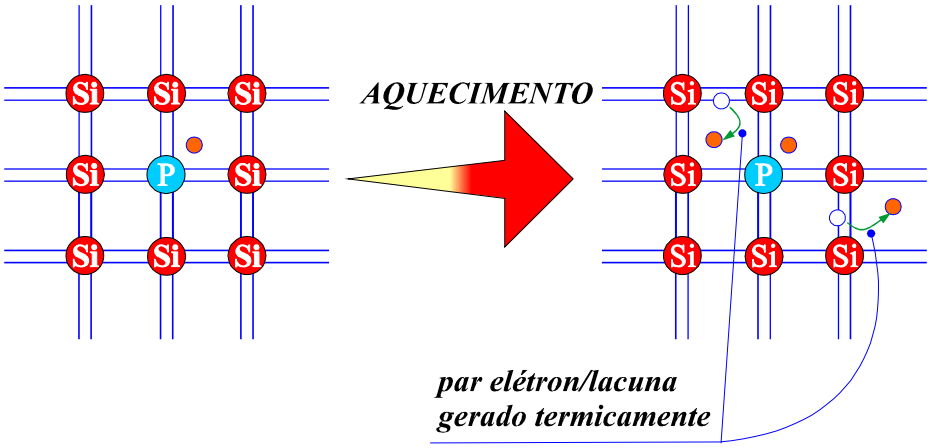


Fig.11 Geração por aquecimento de pares elétron/lacuna em um semicondutor.

O aumento do número de portadores devido ao aquecimento do cristal aumenta sua condutividade, permitindo assim que se obtenha um maior fluxo de corrente no material.

O diodo semicondutor

O diodo semicondutor é um componente que pode comportar-se como condutor ou isolante elétrico, dependendo da forma como a tensão é aplicada aos seus terminais. Essa característica permite que o diodo semicondutor possa ser utilizado em diversas aplicações, como, por exemplo, na transformação de corrente alternada em corrente contínua.

FORMAÇÃO DO DIODO - JUNÇÃO *pn*

Um diodo semicondutor é formado a partir da junção entre um semicondutor tipo *p* e um semicondutor tipo *n*, conforme ilustrado na **Fig.12**. Existem vários processos que permitem a fabricação desse tipo de estrutura e que utilizam técnicas altamente sofisticadas para o controle de crescimento dos cristais semicondutores com os graus de dopagens desejados. A estrutura formada recebe a denominação de **junção *pn***.

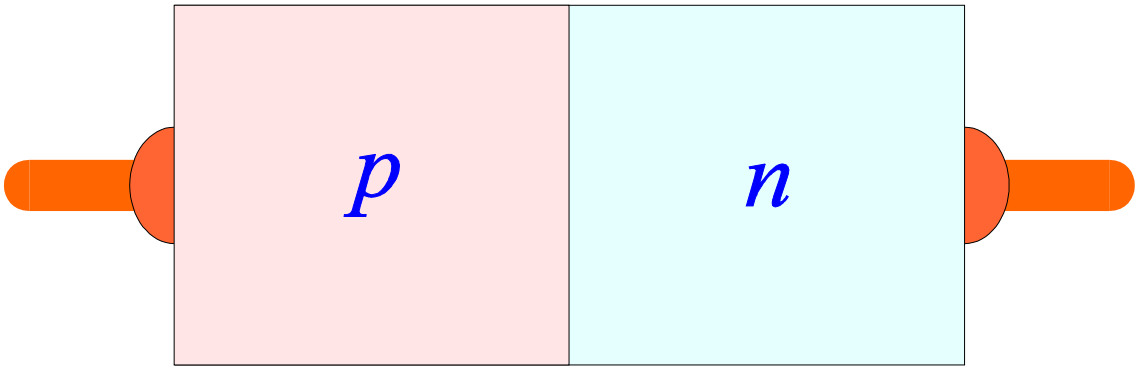


Fig.12 Diodo semicondutor.

Conforme ilustrado na **Fig.13**, logo após a formação da junção *pn*, alguns elétrons livres se difundem do semicondutor tipo *n* para o semicondutor tipo *p*. O mesmo processo ocorre com algumas lacunas existentes no semicondutor tipo *p* que difundem para o semicondutor tipo *n*.

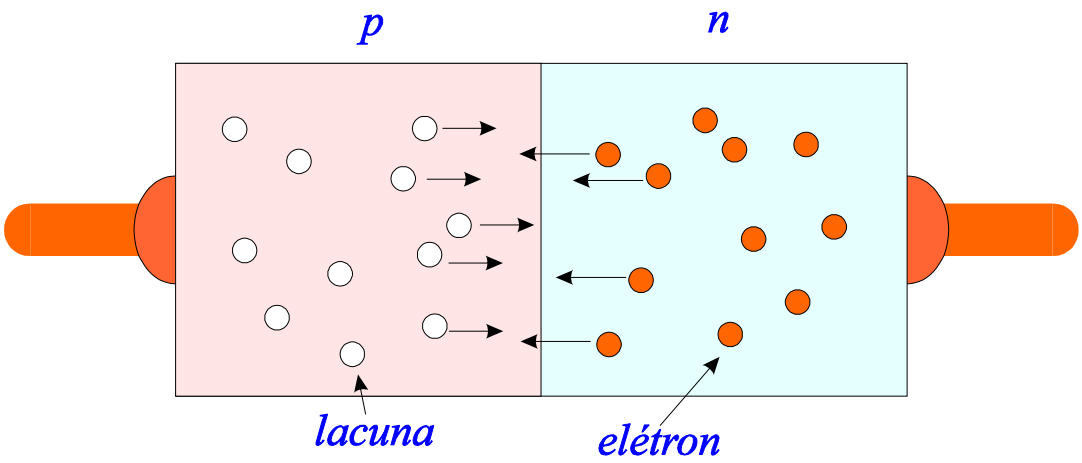


Fig.13 Difusão de elétrons e lacunas logo após a formação da junção *pn*.

Durante o processo de difusão, parte dos elétrons livres se recombinam com lacunas na região próxima à junção. A diminuição do número de elétrons livres existentes inicialmente do lado *n* que conseguiram se difundir e recombinar com as lacunas no lado *p*, produz uma região de cargas positivas do lado *n* e negativas do lado *p* da junção.

Conforme ilustrado na **Fig.14**, as cargas produzidas nas proximidades da junção são cargas fixas à rede cristalina. Essa região de cargas próxima à junção é denominada **região de cargas descobertas** ou **região de depleção**.

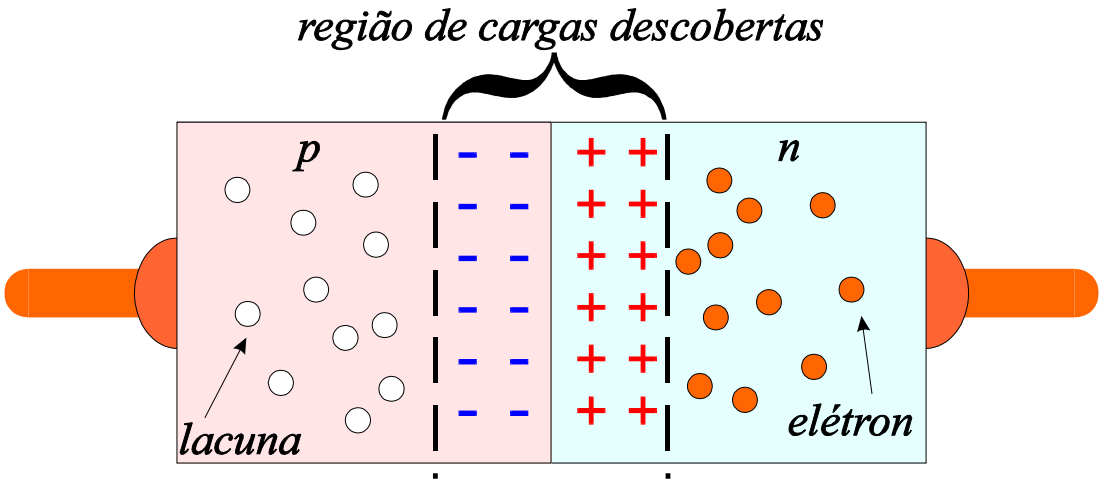


Fig.14 Região de cargas descobertas nas proximidades da junção *pn*.

Com o aparecimento da região de depleção, o transporte de elétrons para o lado *p* é bloqueado, pois estes são repelidos da região negativamente carregada do lado *p*. O mesmo efeito se aplica para lacunas cujo transporte para o lado *n* é repelido pelas cargas positivas existentes no lado *n* da junção.

Portanto, imediatamente após a formação da junção, uma diferença de potencial positiva é gerada entre os lados *n* e *p*. Essa **barreira de potencial** previne a continuação do transporte de portadores através da junção *pn* não polarizada.

Imediatamente após a formação da junção pn, aparece uma barreira de potencial que é positiva do lado n e negativa do lado p da junção.

A tensão V_B proporcionada pela barreira de potencial no interior do diodo, depende do material utilizado na sua fabricação. Valores aproximados para os diodos de germânio e silício são $V_B = 0{,}3$ V e $V_B = 0{,}7$ V, respectivamente.

Não é possível medir diretamente o valor de V_B aplicando um voltímetro conectado aos terminais do diodo, porque essa tensão existe apenas em uma pequena região próxima à junção. No todo, o componente é eletricamente neutro, uma vez que não foram acrescentados nem retirados portadores do cristal.

ASPECTO E REPRESENTAÇÃO DO DIODO

O diodo semicondutor é representado em diagramas de circuitos eletrônicos pelo símbolo ilustrado na **Fig.15.** O terminal da seta representa o material *p*, denominado de **ânodo** do diodo, enquanto o terminal da barra representa o material *n*, denominado de **cátodo** do diodo.

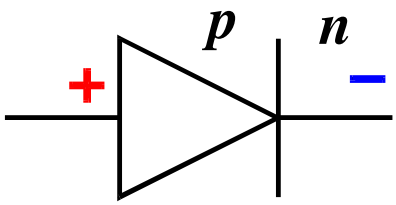


Fig.15 Representação do diodo.

A identificação dos terminais do componente real pode aparecer na forma de um símbolo impresso sobre o corpo do componente ou alternativamente, o cátodo do diodo pode ser identificado através de um anel impresso na superfície do componente, conforme ilustrado na **Fig. 16**.

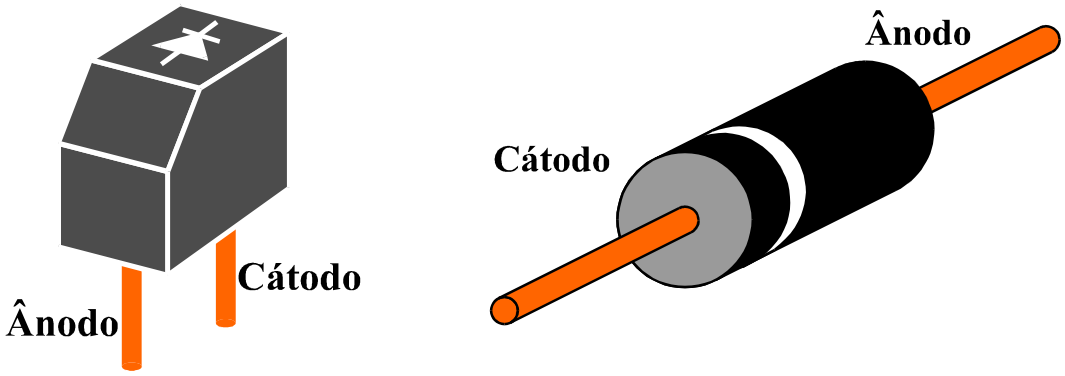


Fig.16 Formas de identificação dos terminais do diodo semicondutor para dois tipos comuns de encapsulamento.

Observa-se que o comportamento de qualquer componente eletrônico depende diretamente da sua temperatura de trabalho. Essa **dependência térmica** é um fator importante que deve ser considerado quando se projeta ou se montam circuitos com esses componentes.

APLICAÇÃO DE TENSÃO SOBRE O DIODO

A aplicação de tensão sobre o diodo estabelece a forma como o componente se comporta eletricamente. A tensão pode ser aplicada ao diodo pela **polarização direta** ou pela **polarização inversa** do componente, conforme examinado a seguir.

POLARIZAÇÃO DIRETA

Polarização direta é uma condição que ocorre quando o lado *p* é submetido a um potencial positivo relativo ao lado *n* do diodo, conforme ilustrado na **Fig. 17**.

Nessa situação, o pólo positivo da fonte repele as lacunas do material *p* em direção ao pólo negativo, enquanto os elétrons livres do lado *n* são repelidos do pólo negativo em direção ao pólo positivo.

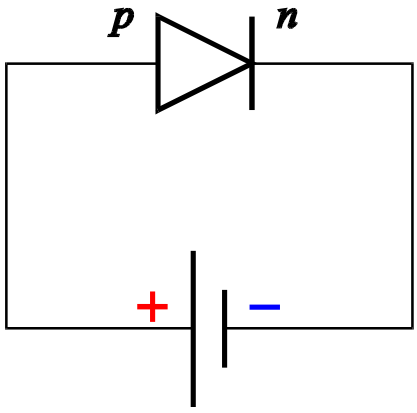
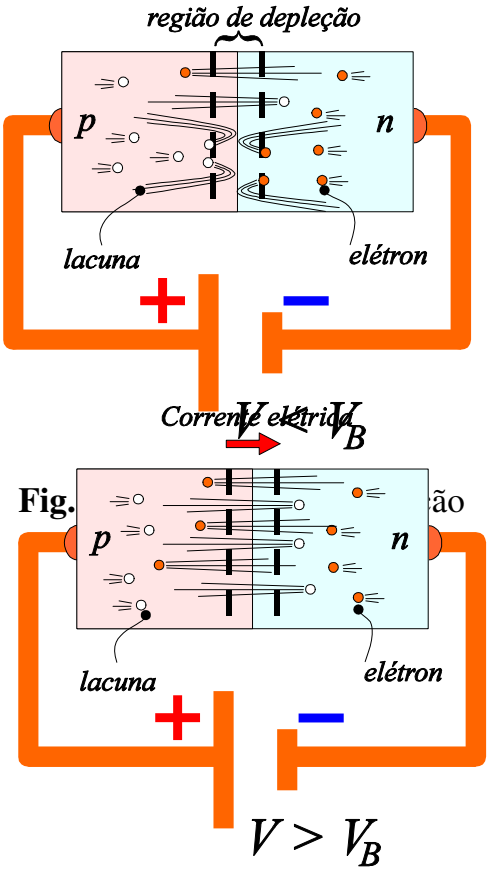


Fig.17 Diodo submetido à polarização direta.

Na situação ilustrada na **Fig.18,** o valor da tensão aplicada ao diodo é inferior ao valor V_B da barreira de potencial. Nessa condição, a maior parte dos elétrons e lacunas não têm energia suficiente para atravessar a junção.

Como resultado, apenas alguns elétrons e lacunas têm energia suficiente para penetrar a barreira de potencial, produzindo uma pequena corrente elétrica através do diodo.



Se a tensão aplicada aos terminais do diodo excede o valor da barreira de potencial, lacunas do lado *p* e elétrons do lado *n* adquirem energia superior àquela necessária para superar a barreira de potencial, produzindo como resultado um grande aumento da corrente elétrica através do diodo, como mostrado na **Fig. 19**.

Quando o diodo está polarizado diretamente, conduzindo corrente elétrica sob a condição $V > V_B$, diz-se que **o diodo está em condução**.

Fig.19 Diodo sob polarização direta para $V > V_B$.

Um diodo está em condução quando polarizado diretamente sob a condição $V > V_B$.

POLARIZAÇÃO INVERSA

A polarização inversa de um diodo ocorre quando o lado *n* fica submetido a um potencial positivo relativo ao lado *p* do componente, como mostrado na **Fig.20**.

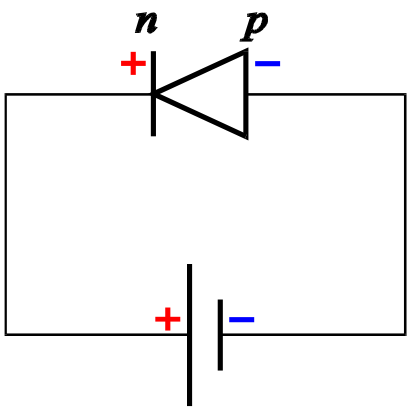


Fig.20 Diodo sob polarização inversa.

Nessa situação, os pólos da fonte externa atraem os portadores livres majoritários em cada lado da junção; ou seja, elétrons do lado *n* e lacunas do lado *p* são afastados das proximidades da junção, conforme ilustrado na **Fig.21**.

Com o afastamento dos portadores majoritários, aumenta não só, a extensão da região de cargas descobertas, como também o valor da barreira de potencial através da junção.

Com o aumento da barreira de potencial, torna-se mais difícil o fluxo, através da junção, de elétrons injetados pela fonte no lado *p* e de lacunas no lado *n*. Como resultado, a corrente através do diodo tende praticamente a um valor nulo.

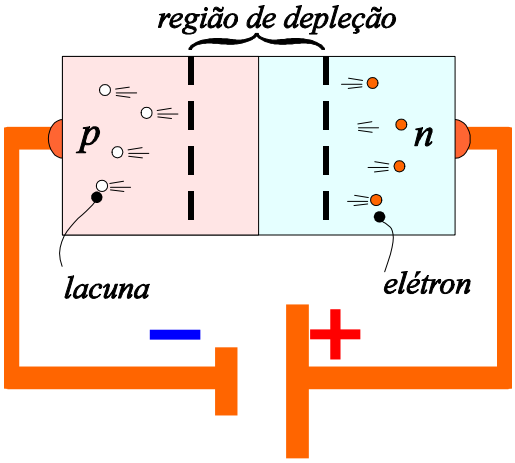


Fig.21 Região de depleção de um diodo sob polarização inversa.

Quando o diodo está sob polarização inversa, impedindo o fluxo de corrente através de seus terminais, diz-se que **o diodo está em bloqueio ou na condição de corte**.

Um diodo inversamente polarizado bloqueia o fluxo de corrente elétrica.

CARACTERÍSTICA ELÉTRICA DO DIODO SEMICONDUTOR

É sempre conveniente modelar um determinado componente eletrônico através de seu **circuito equivalente**. O circuito equivalente é uma ferramenta largamente utilizada em eletrônica para representar um componente com características não comuns, por um circuito consistindo de componentes mais simples, tais como interruptores, resistores, capacitores etc.

No caso do diodo semicondutor, o circuito equivalente se torna bastante simplificado quando o diodo é considerado ideal, conforme descrito a seguir.

O DIODO SEMICONDUTOR IDEAL

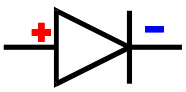
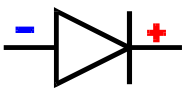
Por diodo ideal entende-se um dispositivo que apresenta características ideais de condução e bloqueio.

Um diodo ideal, polarizado diretamente, deve conduzir corrente elétrica sem apresentar resistência, comportando-se como um interruptor fechado, como ilustrado na segunda linha da **Tabela 1**. O interruptor fechado é, portanto, o circuito equivalente para o diodo ideal em condução.

Polarizado inversamente, o diodo semicondutor ideal deve comportar-se como um isolante perfeito, impedindo completamente o fluxo de corrente. O interruptor aberto ilustrado na terceira linha da **Tabela 1** é, portanto, o circuito equivalente para o diodo ideal na condição de corte.

Em resumo, o diodo ideal comporta-se como um interruptor, cujo estado é controlado pela tensão aplicada aos seus terminais.

Tabela 1 Circuitos equivalentes para o diodo ideal.

Estado	Polarização	Circuito equivalente
Condução		
Bloqueio		

MODELO SEMI-IDEAL DO DIODO SEMICONDUTOR

O diodo ideal é um modelo simplificado do diodo real, pois naquele modelo alguns parâmetros relacionados à fabricação e às propriedades de materiais semicondutores são desprezados. Modelos mais realísticos do diodo operando em condução ou em bloqueio são descritos a seguir.

Diodo em condução

Com respeito às características de condução do diodo semicondutor, deve-se levar em conta que o diodo entra em condução efetiva apenas a partir do momento em que a tensão da fonte externa atinge um valor ligeiramente superior ao valor V_B da barreira de potencial.

Deve-se também considerar a existência de uma resistência elétrica através da junção quando o diodo está sob polarização direta. Essa resistência existe em qualquer semicondutor, devido a colisões dos portadores com a rede cristalina do material. O valor da resistência interna dos diodos em estado de condução é normalmente inferior a 1Ω.

Assim, um modelo mais aprimorado para o circuito equivalente do diodo em condução pode ser obtido pela associação série de um resistor R_c, representativo da resistência direta de condução, com uma fonte de tensão V_B correspondente ao valor da barreira de potencial na junção, como mostrado na **Fig.22**.

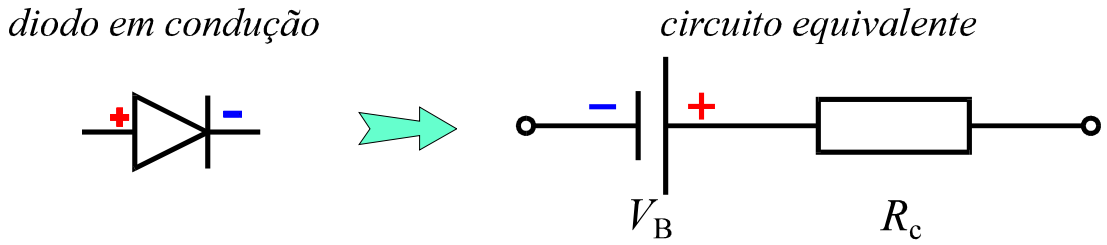
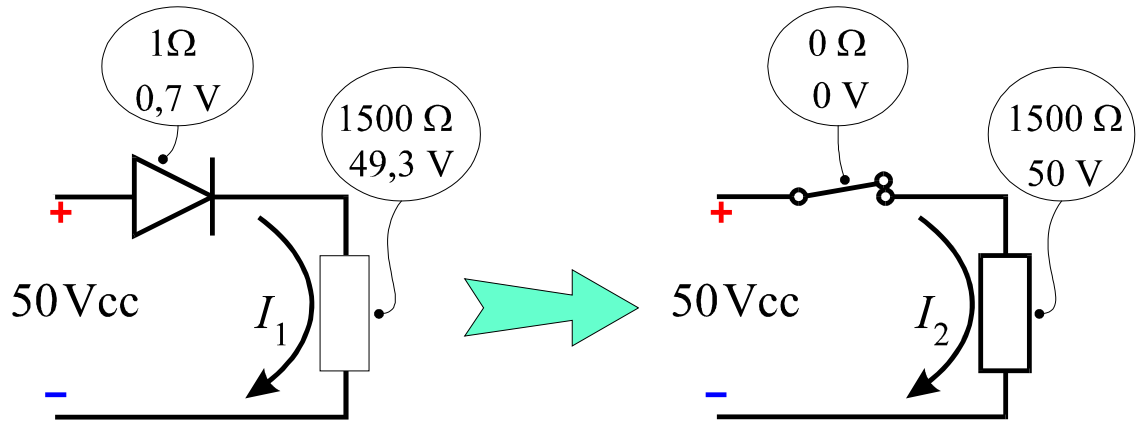


Fig.22 Modelo semi-ideal do diodo semicondutor em condução.

Em situações em que o diodo é utilizado em série com componentes que exibem resistências muito superiores à sua resistência de condução, esta pode ser desprezada e o diodo pode ser considerado como ideal, sem que se incorra em um erro significativo.

No circuito da **Fig.23**, por exemplo, o valor da resistência externa é 1.500 vezes superior à resistência de condução do diodo, e o erro relativo cometido no

cálculo da corrente do circuito ao se considerar o diodo como ideal é de apenas 1,5%.



$$I_1 = \frac{49{,}3\ \text{V}}{1500} = 0{,}0328\ \text{A} \qquad I_2 = \frac{50}{1500} = 0{,}0333\ \text{A}$$

$$\text{Erro relativo}(\%) = \frac{I_2 - I_1}{I_1} \times 100 = \frac{0.0333 - 0.0328}{0{,}0328} \times 100 = \frac{0.0005}{0.0328} \times 100 = 1{,}5\%$$

Fig.23 Circuito com diodo submetido a condução e cálculo do erro cometido ao se utilizar o diodo ideal como modelo.

Diodo em bloqueio

Efeitos associados à **temperatura e a absorção de fótons** nas proximidades da junção de um diodo, possibilitam a geração de uma pequena quantidade de **portadores minoritários**, ou mais precisamente, lacunas no lado *n* e elétrons livres no lado *p*. Conseqüentemente, sempre existe uma **corrente de fuga**, quando o diodo é inversamente polarizado, correspondendo à passagem de portadores minoritários através da junção. Essa corrente de fuga é geralmente da ordem de alguns microampères, o que indica que a resistência da junção inversamente polarizada pode chegar a vários megahoms.

O diodo em bloqueio pode, portanto, ser modelado a partir do circuito equivalente mostrado na **Fig.24**.

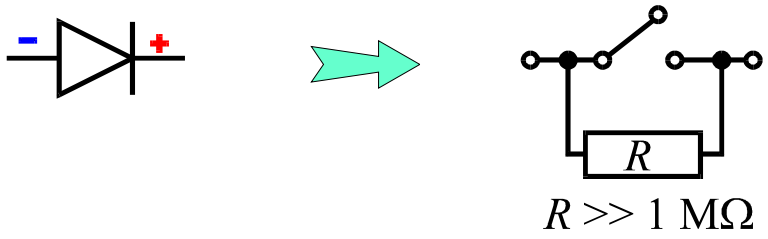


Fig.24 Circuito equivalente para o diodo em bloqueio.

CURVA CARACTERÍSTICA DO DIODO

O comportamento de qualquer componente eletrônico pode ser expresso através de uma **curva característica** ou **curva *VI*** que representa a relação entre tensão e corrente através dos terminais do componente. Dessa forma, para cada valor da tensão aplicada, pode-se, a partir dos dados da curva característica, obter o valor da corrente que flui no dispositivo e vice-versa. A curva característica do diodo serve para determinar seu comportamento real qualquer que seja o seu estado de polarização, conforme examinado a seguir.

Região de condução

Durante a condução, uma corrente I_d flui através do diodo, conforme ilustrado na **Fig.25.** A medida que aumenta a corrente injetada I_d, a queda de tensão V_d , observada através dos terminais do diodo, aumenta muito pouco em relação ao valor V_B, como conseqüência do baixíssimo valor da resistência de condução do diodo.

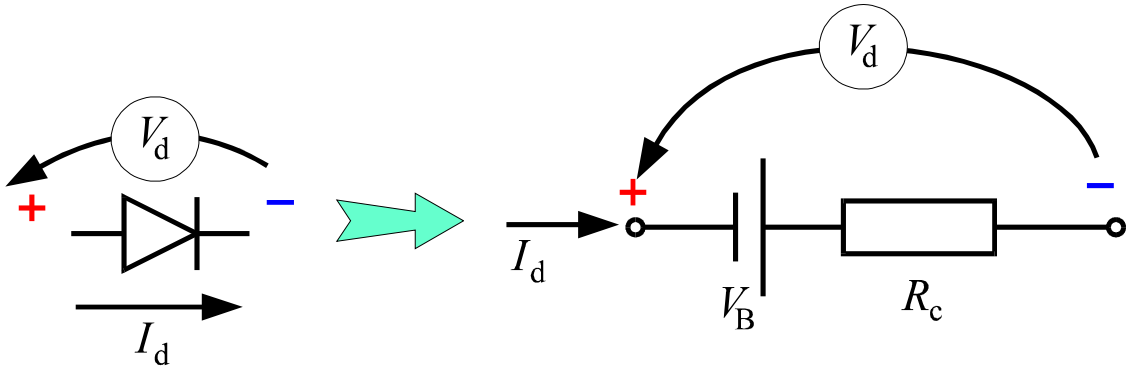


Fig.25 Modelo do diodo no regime de condução e parâmetros utilizados na definição da curva característica.

Uma representação gráfica dessa relação tensão×corrente para o caso do diodo de silício é mostrada na **Fig.26.** Nessa representação, a curva

característica do diodo é obtida simplesmente pela união de todos os pontos representativos dos pares de valores possíveis de corrente I_d e tensão V_d, através do diodo no regime de condução.

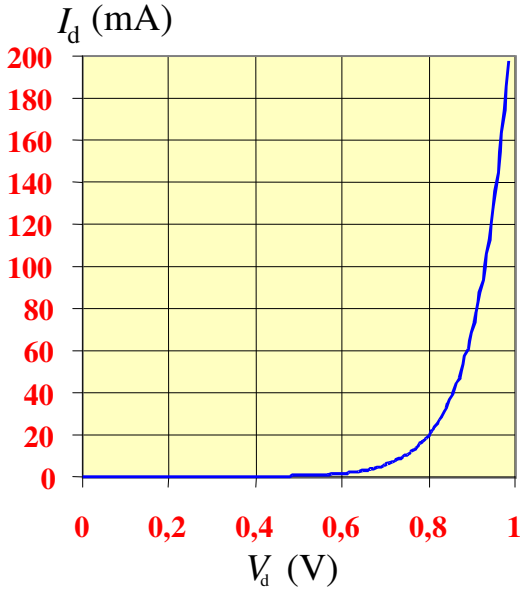


Fig.26 Curva característica do diodo de silício no regime de condução.

A obtenção do valor de tensão V_0 que corresponde a um dado valor de corrente I_0, é feita conforme ilustrado na **Fig.27**. Deve-se traçar inicialmente uma linha horizontal a partir do ponto sobre o eixo vertical correspondente ao valor I_0. Essa linha intercepta a curva no ponto P indicado na **Fig.27**. Traçando-se a partir de P uma linha vertical, obtém-se a interseção com o eixo horizontal no ponto V_0 que é o valor desejado da queda de tensão nos terminais do diodo.

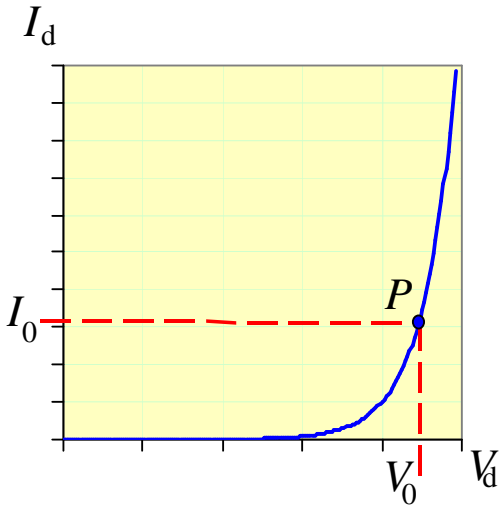


Fig.27 Representação de um par de valores de tensão e de corrente na curva característica.

Através da curva verifica-se também que, enquanto a tensão sobre o diodo não ultrapassa um valor limite, que corresponde

ao potencial da barreira V_B, a corrente através do diodo permanece muito pequena. Essa condição está indicada na **Fig.28**, para um tipo de diodo de silício, onde $I_d < 6$ mA para $V_d < 0{,}7$ V. A partir do valor limite $V_B = 0{,}7$ V, a corrente através do diodo pode aumentar substancialmente sem que isso cause um aumento significativo na queda de tensão através do diodo. Verifica-se, portanto, que na faixa de valores $V_d > 0{,}7$ V, o diodo comporta-se praticamente como um resistor de baixíssima resistência.

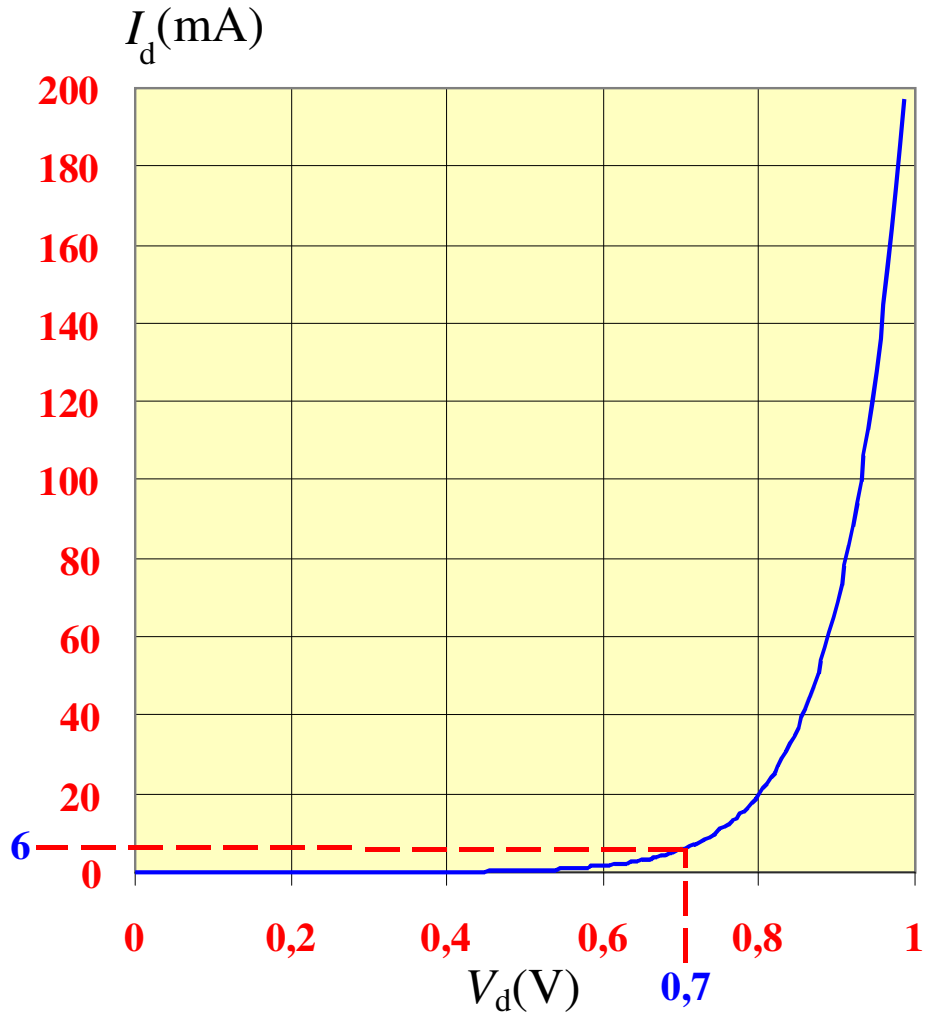


Fig.28 Curva característica para um tipo comum de diodo de silício.

Região de bloqueio

Como discutido anteriormente, existe uma corrente de fuga quando o diodo é inversamente polarizado. Essa corrente de fuga aumenta gradativamente com o aumento da tensão inversa nos terminais do diodo. Esse comportamento pode ser observado na região de tensões e correntes negativas do gráfico da curva característica mostrado na **Fig.29**. Note-se que, para este tipo de diodo de silício, a corrente de fuga **satura** no valor de 1 microampère negativo.

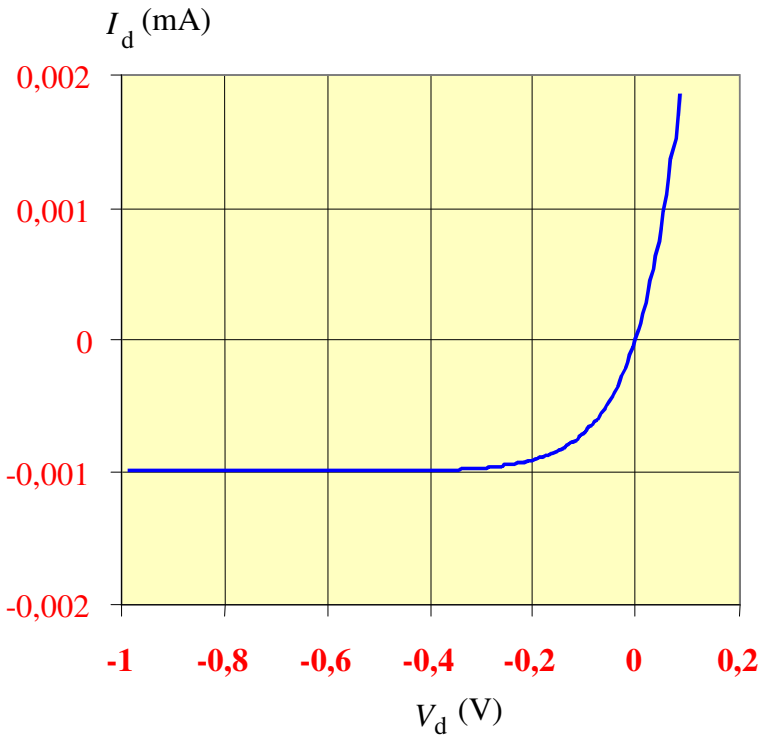


Fig.29 Gráfico exibindo a porção da curva característica em que o diodo é inversamente polarizado.

Como em polarização direta a corrente é tipicamente mais de 1.000 vezes superior ao valor da corrente de polarização inversa, a representação das duas regiões de operação em um mesmo gráfico é geralmente feita utilizando-se a escala de mA na região de tensões positivas, e a escala de µA na região de tensões negativas. Essa forma de representação está ilustrada na **Fig.30**, para um tipo comum de diodo de silício, onde se pode visualizar detalhadamente o comportamento da curva característica em ambos os regimes de operação.

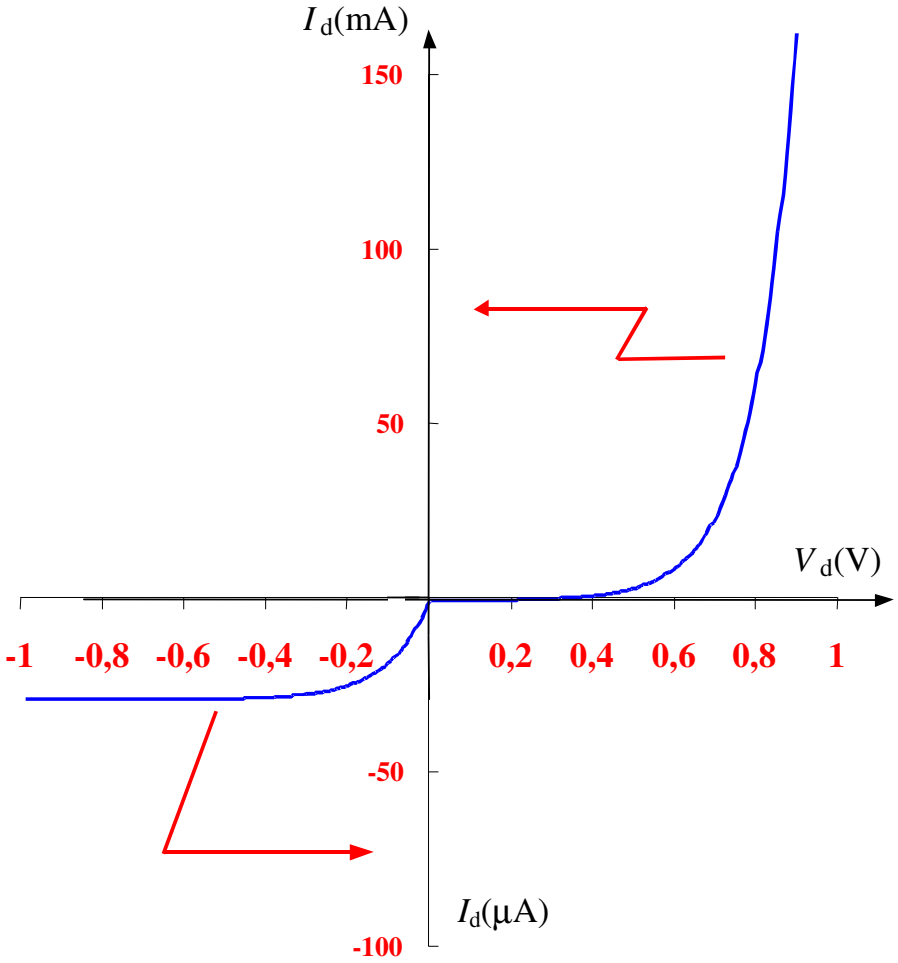


Fig.30 Curva característica de um diodo de silício com escala vertical dupla para detalhar os regimes de polarização direta e inversa.

LIMITES DE OPERAÇÃO DO DIODO

Os limites de operação do diodo em *cc* estabelecem os valores máximos de tensão e corrente que podem ser aplicados ao componente em circuitos de corrente contínua, sem provocar danos a sua estrutura.

Analisando o comportamento do diodo no regime de condução, verifica-se que a corrente de condução é o fator diretamente influenciado pelo circuito de alimentação do diodo. A queda de tensão nos terminais do diodo no regime de condução é praticamente independente do circuito, mantendo-se em um valor próximo ao valor do potencial da barreira do dispositivo, ou seja, 0,7 V para o silício e 0,3 V para o germânio.

No regime de polarização inversa, a tensão através do diodo é o parâmetro diretamente influenciado pelo circuito de alimentação. A corrente de fuga não é muito influenciada pelo circuito externo pois depende apenas das propriedades materiais do diodo.

Dessa forma, os limites de operação do diodo são definidos pela **corrente de condução máxima** e **tensão inversa máxima** descritas a seguir.

Corrente de condução máxima

A corrente máxima de condução de um diodo é fornecida pelo fabricante em um folheto de especificações técnicas. Nesses folhetos, a corrente máxima de condução aparece designada pela sigla I_F, com a abreviação *F* simbolizando a palavra inglesa *forward* que significa *para a frente*, *direto(a)* etc. Na **Tabela 2** são especificados valores de I_F para dois tipos comerciais de diodos.

Tabela 2 Valores de I_F para dois diodos.

TIPO	I_F
SKE 1/12	1,0 A
1n4004	1,0 A

Tensão inversa máxima

Sob polarização inversa, o diodo opera no regime de bloqueio. Nessa condição, praticamente toda tensão externamente aplicada atua diretamente entre os terminais do diodo, conforme ilustrado na **Fig.31**.

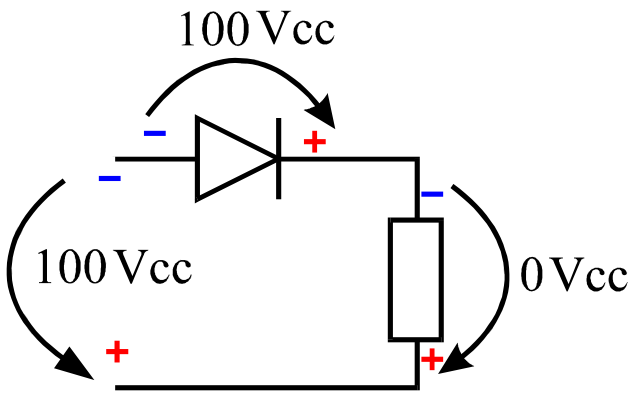


Fig.31 Circuito alimentando diodo sob polarização inversa.

Cada diodo tem a estrutura preparada para suportar um determinado valor máximo da tensão inversa. A aplicação de um valor de tensão inversa **superior** àquele especificado pelo fabricante, provoca um aumento significativo da corrente de fuga suficiente para danificar o componente.

Os fabricantes de diodos fornecem nos folhetos de especificação o valor da tensão inversa máxima que o diodo suporta sem sofrer ruptura. Esse valor é designado por V_R. Na **Tabela 3** estão listadas as especificações de alguns diodos comerciais com os respectivos valores do parâmetro V_R.

Tabela 3 Especificações de diodos e tensões inversas máximas correspondentes.

TIPO	V_R
1N4001	50 V
BY127	800 V
BYX13	50 V
SKE1/12	1.200 V

TESTE DE DIODOS SEMICONDUTORES

As condições de funcionamento de um diodo podem ser verificadas pela medição da resistência através de um multímetro.

Os testes realizados para determinar as condições de um diodo resumem-se a uma verificação da resistência do componente nos sentidos de condução e bloqueio, utilizando a tensão fornecida pelas baterias do ohmímetro. Entretanto, existe um aspecto importante com relação ao multímetro que deve ser considerado ao se testarem componentes semicondutores:

Existem alguns multímetros que, quando usados como ohmímetros, têm polaridade real invertida com relação à polaridade indicada pelas cores das pontas de prova.

Isso implica que, para estes multímetros:

Ponta de prova preta	⇒	**Terminal positivo**
Ponta de prova vermelha	⇒	**Terminal negativo**

Para realizar o teste com segurança deve-se utilizar um multímetro cuja polaridade real das pontas de prova seja conhecida ou consultar o esquema do multímetro para determinar as polaridades reais.

EXECUÇÃO DO TESTE

Para determinar se o diodo está defeituoso, não é necessário identificar os terminais do ânodo e do cátodo. Basta apenas conectar as pontas de prova do multímetro aos terminais do diodo e alterná-las para verificar o comportamento do diodo quanto às duas polaridades possíveis.

A seguir são descritos possíveis testes de diodos que podem ser realizados com o multímetro.

Diodo em boas condições: O ohmímetro deve indicar baixa resistência para um sentido de polarização e alta resistência ao se inverterem as pontas de prova nos terminais do diodo, conforme ilustrado na **Fig.32**.

Diodo em curto: Se as duas leituras indicarem baixa resistência, o diodo está em curto, conduzindo corrente elétrica nos dois sentidos.

Diodo aberto (interrompido eletricamente): Se as duas leituras indicarem alta resistência o diodo está em aberto, bloqueando a passagem de corrente elétrica nos dois sentidos .

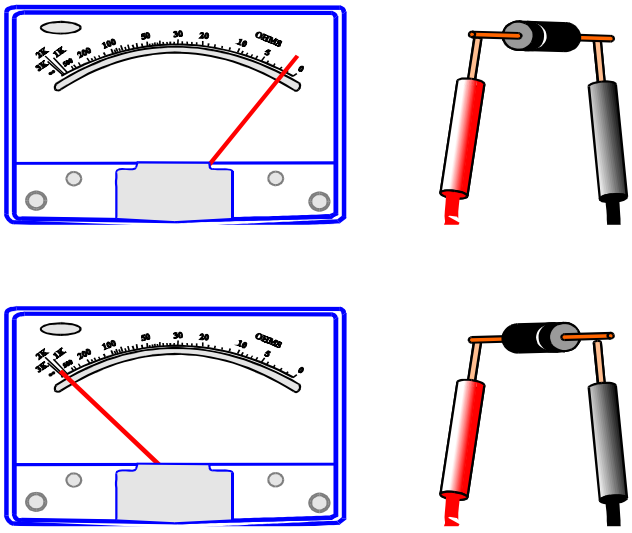


Fig.32 Teste das condições do diodo com um multímetro. Neste exemplo, o diodo está em boas condições e a cor vermelha corresponde à polaridade positiva.

Identificação do ânodo e cátodo de um diodo: Em muitas ocasiões, a barra de identificação do cátodo no corpo de um diodo pode estar apagada. Nessas

situações, os terminais do diodo poderão ser identificados com auxílio do multímetro. O diodo exibe baixa resistência quando a ponta de prova com a polaridade real positiva é conectada ao ânodo. Basta, portanto, testar o diodo conectando-se as pontas de prova nas duas posições possíveis. Quando o multímetro indicar baixa resistência, o seu ânodo estará conectado à ponta de prova com polaridade real positiva.

QUESTIONÁRIO

1. Qual a característica elétrica de um material semicondutor?

2. Quais são as duas formas naturais do carbono puro e quais as suas características?

3. Quantos elétrons de valência possuem os seguintes compostos: (a) germânio, (b) silício, (c) arsênio e (d) fósforo.

4. Qual a característica elétrica de cristais puros formados por átomos tetravalentes?

5. O que é a dopagem de um semicondutor?

6. O que são um semicondutores tipo *n* e tipo *p*?

7. Que átomos de impureza são utilizados na dopagem do silício para formar um semicondutor tipo *p*? E para formar um semicondutor tipo *n*?

8. O que são lacunas em um semicondutor?

9. De que forma a temperatura altera a condutividade elétrica de um semicondutor?

10. O que ocorre imediatamente após a formação de uma junção *pn*?

11. Sob que condições um diodo entra em condução ou em bloqueio?

12. Quais os circuitos equivalentes referentes ao diodo ideal e semi-ideal?

13. Qual o valor típico de tensão que deve ser aplicada a um diodo de germânio para que ele conduza? E para o diodo de silício?

Retificação de meia onda

Retificação é o nome dado ao processo de transformação de corrente alternada (*ca*) em corrente contínua (*cc*). Esse processo é utilizado com a finalidade de permitir que equipamentos de corrente contínua sejam alimentados a partir da rede elétrica que é disponível apenas na forma de corrente alternada.

A **retificação de meia onda** é um processo de transformação de *ca* em *cc*, que permite o aproveitamento de apenas um semiciclo da tensão de alimentação da carga, conforme ilustrado na **Fig.1**.

Fig.1 Diagrama ilustrando o princípio de operação do circuito retificador de meia onda.

O circuito retificador de meia onda com diodo é empregado em equipamentos que, apesar de exigirem uma tensão de alimentação unipolar, não necessitam que a mesma permaneça constante como função do tempo como, por exemplo, nos carregadores de bateria.

RETIFICAÇÃO DE MEIA ONDA COM DIODO SEMICONDUTOR

As características de condução e bloqueio do diodo semicondutor podem ser utilizadas para obter uma retificação de meia onda a partir da corrente alternada da rede elétrica domiciliar. A configuração básica desse tipo de circuito é ilustrada na **Fig.2** e o comportamento da tensão na carga em cada semiciclo da tensão de alimentação é descrito a seguir.

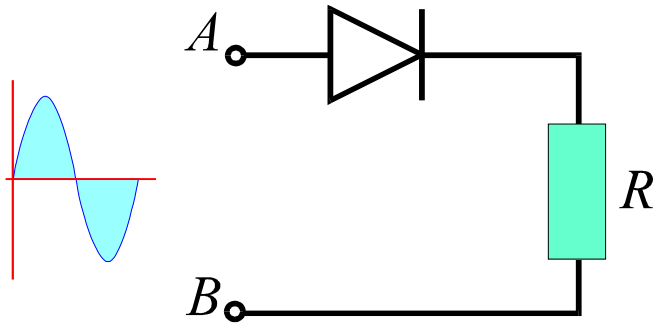


Fig.2 Circuito retificador de meia onda com diodo semicondutor.

SEMICICLO POSITIVO

Com base na **Fig.3**, a tensão no ponto *A* é positiva com relação ao ponto *B*, durante o semiciclo positivo. Com esta polaridade da tensão de entrada, o diodo entra no regime de condução, permitindo portanto a circulação de corrente.

Nessas condições, a tensão na carga assume uma forma próxima àquela da tensão de entrada, como pode ser observado na **Fig.3**.

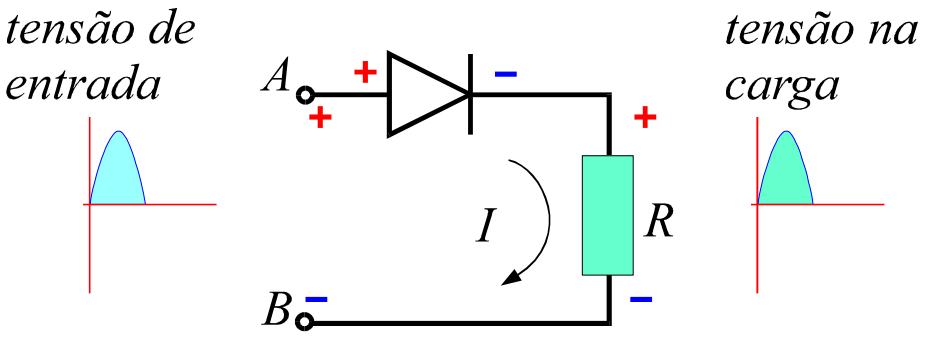


Fig.3 Alimentação da carga durante o semiciclo positivo da tensão de entrada.

No entanto, um exame mais minucioso da operação daquele circuito durante o semiciclo positivo mostra que existe uma pequena diferença entre as duas formas de tensão, conforme pode-se observar na **Fig.4**. Note-se que o diodo só entra efetivamente em condução a partir do instante de tempo em que a tensão de entrada supera o potencial de barreira V_B. A partir desse momento, a tensão no diodo mantém-se próxima ao valor V_B até o instante de tempo em que, após começar a decrescer, torna-se menor do que o valor V_B.

Sob essas condições, existirão dois pequenos intervalos de tempo, um no início e outro no fim do semiciclo positivo, durante os quais a tensão na carga é nula. Fora desses intervalos, a tensão de entrada supera o valor V_B e a tensão na carga assume uma forma próxima à tensão de entrada.

Vale também notar, conforme pode ser observado na **Fig.4**, que o valor máximo da tensão na carga é menor que o valor máximo da tensão de entrada, por uma quantidade igual à queda de tensão sobre o diodo no regime de condução. Esse valor é da ordem de 0,7 V para o diodo de silício. Em situações em que a condição $V_{máx} >> V_B$ é satisfeita, a diferença entre as duas formas de tensão se torna desprezível durante o semiciclo positivo.

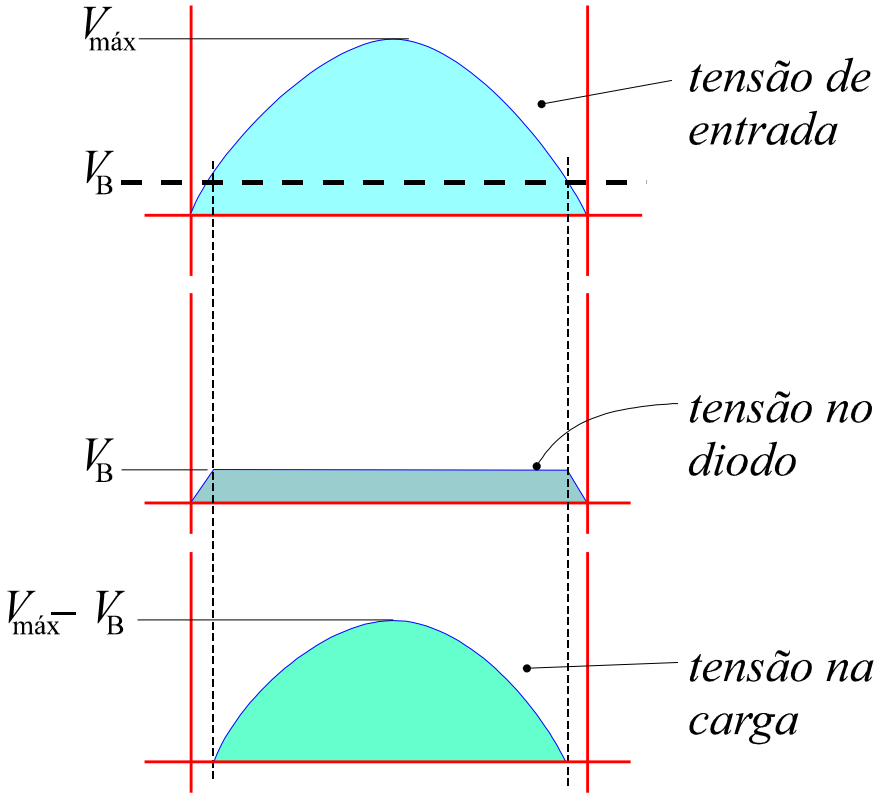


Fig.4 Detalhamento das formas de tensão na entrada do circuito, no diodo e na carga durante o semiciclo positivo.

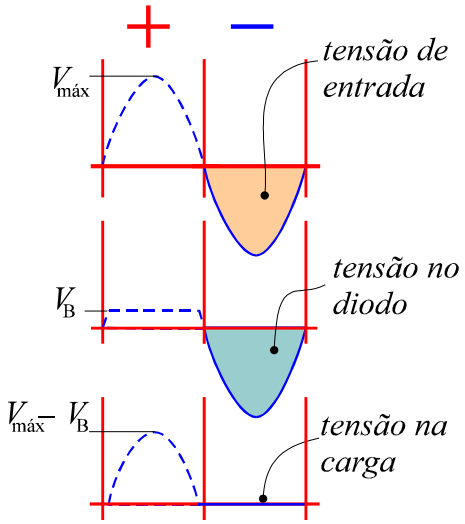


Fig.6 Tensões no circuito retificador durante o semiciclo negativo.

SEMICICLO NEGATIVO

Durante o semiciclo negativo o potencial no ponto *A* se torna negativo em relação ao ponto *B*. Com essa polaridade na entrada, o diodo entra em bloqueio comportando-se efetivamente como uma chave aberta, impedindo a circulação de corrente, conforme ilustrado na **Fig.5**.

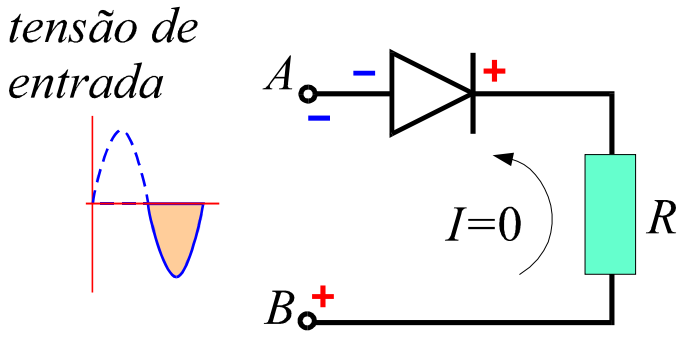


Fig.5 Circuito retificador durante o semiciclo negativo.

A condição de corrente nula no circuito implica que toda a tensão de entrada é transferida para o diodo, com a tensão na carga mantendo-se nula, conforme ilustrado na **Fig.6**.

Conclui-se, portanto, que para cada ciclo completo de tensão de entrada, apenas o semiciclo positivo é transferido diretamente para a carga, estando o semiciclo negativo aplicado diretamente entre os terminais do diodo.

Se a posição do diodo for invertida, conforme ilustrado na **Fig.7**, a tensão na carga simplesmente muda de sinal conforme ilustrado na **Fig.8**.

A forma de tensão resultante sobre a carga é denominada de **tensão contínua pulsante**. Esta denominação advém do fato de o fluxo de corrente no circuito se dar em um **único sentido** e na forma de **pulsos** separados por intervalos de tempo nos quais a corrente no circuito é nula.

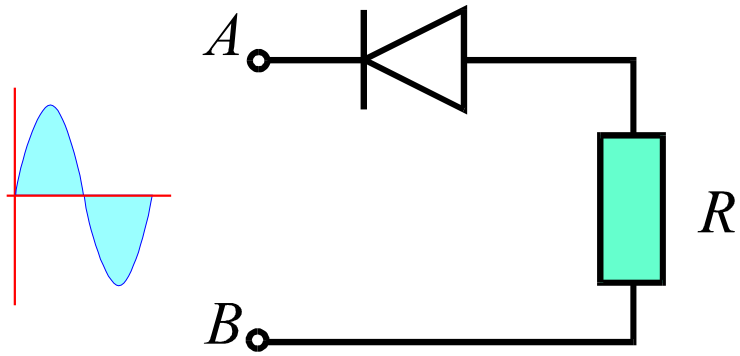


Fig.7 Circuito retificador com diodo invertido em relação à configuração mostrada na **Fig. 2**.

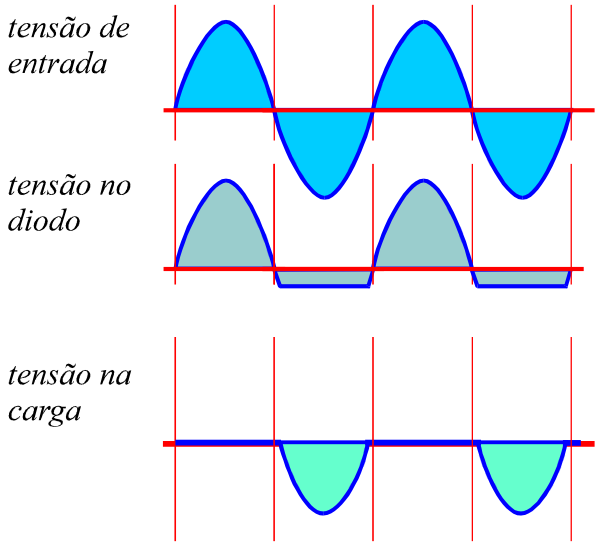


Fig.8 Dependência temporal da tensão na entrada, sobre o diodo e sobre a carga do circuito mostrado na **Fig.7**.

MEDIÇÃO DA TENSÃO NA CARGA

No circuito retificador de meia onda, a tensão de saída que é medida na carga é pulsada. Para medir essa tensão de saída, utiliza-se um multímetro ou um voltímetro de *cc* com as pontas de prova conectadas aos terminais da carga.

O voltímetro cc ou multímetro em escala de tensão cc, conectado à saída do circuito retificador, sempre indica um valor médio para a tensão contínua pulsante sobre a carga.

QUESTIONÁRIO

1. O que é retificação de meia onda?

2. Desenhe o diagrama de circuito de um retificador de meia onda com diodo semicondutor.

3. Descreva o princípio de funcionamento do retificador de meia onda com diodo semicondutor.

4. Qual o valor da tensão média medida na carga de um retificador a diodo submetido a uma entrada senoidal tendo $V_{máx}$ = 3 V ?

5. Qual a tensão efetiva referente ao resultado obtido na questão 4 ?

6. Se a resistência de carga da questão 4 vale 100 Ω, quais os valores da corrente média e corrente efetiva na carga?

7. Quais são os inconvenientes do processo de retificação de meia onda?

Retificação de onda completa

A **retificação de onda completa** é um processo de transformação de *ca* em *cc*, que permite o aproveitamento dos dois semiciclos da tensão de alimentação da carga, conforme ilustrado na **Fig.1**

Fig.1 Diagrama ilustrando o princípio de operação do circuito retificador de onda completa.

O circuito retificador de onda completa é o mais empregado nos equipamentos eletrônicos, pois permite obter um melhor aproveitamento da energia disponível na entrada do circuito.

A retificação de onda completa pode ser realizada com o emprego de um transformador com derivação central e dois diodos semicondutores ou alternativamente, pelo uso de uma ponte de quatro diodos, conforme descrito a seguir.

RETIFICAÇÃO DE ONDA COMPLETA COM DERIVAÇÃO CENTRAL

A retificação de onda completa com derivação central é a denominação técnica que se dá ao circuito retificador de onda completa que emprega dois diodos semicondutores, quando se deriva o terminal negativo de saída do

circuito da porção central do secundário do transformador, sendo o terminal positivo considerado no ponto de interconexão dos dois diodos, conforme ilustrado na **Fig.2**.

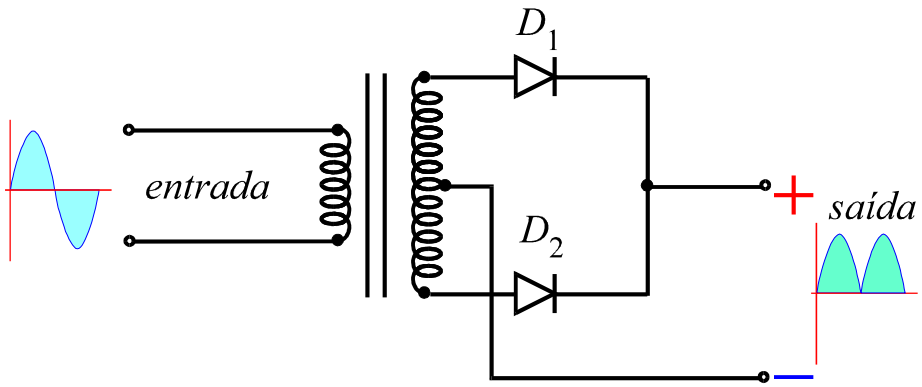


Fig.2 Diagrama de circuito do retificador de onda completa com derivação central.

Esse tipo de configuração também recebe a denominação de *center tap*. A expressão *center tap* é de origem inglesa, sendo traduzida para a língua portuguesa como *derivação central.*

FUNCIONAMENTO

O princípio de funcionamento do circuito retificador de onda completa com derivação central pode ser compreendido analisando-se a operação do circuito por semiciclo da tensão de entrada, conforme exposto a seguir.

Semiciclo negativo

Estabelecendo-se a referência de potencial no primário e secundário do transformador, conforme indicado na **Fig.3**, verifica-se, que durante o semiciclo negativo da tensão de entrada, o ânodo do diodo D_1 fica submetido a um potencial positivo, ao passo que o ânodo do diodo D_2 fica submetido a um potencial negativo.

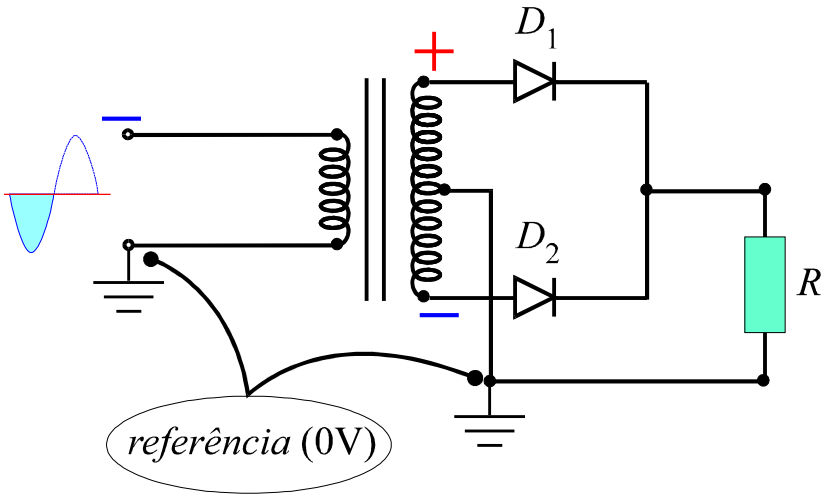


Fig.3 Retificador de onda completa submetido a uma tensão de entrada negativa.

Dessa forma, o diodo D_1 entra no estado de condução enquanto o diodo D_2 entra em bloqueio. Utilizando-se o modelo ideal para o diodo semicondutor, obtém-se o circuito equivalente ilustrado na **Fig.4**. Como pode ser aí observado, a condição de condução de D_1 permite a circulação de corrente através da carga do terminal positivo para o terminal de referência. Nessas condições, a tensão existente no primário é transferida, com uma inversão de sinal, diretamente para a carga.

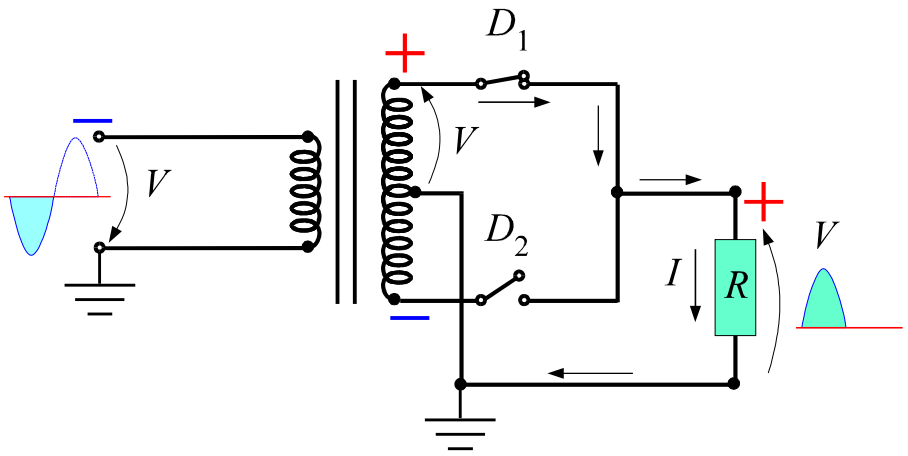


Fig.4 Circuito equivalente para o retificador de onda completa durante o semiciclo negativo.

Semiciclo positivo

Durante o semiciclo positivo, ocorre a inversão de polaridade no secundário do transformador, conforme ilustrado na **Fig.5**. Conseqüentemente, o diodo D_1 torna-se inversamente polarizado entrando em bloqueio. O estado de polarização direta nesse caso ocorre no diodo D_2, que entra no regime de condução.

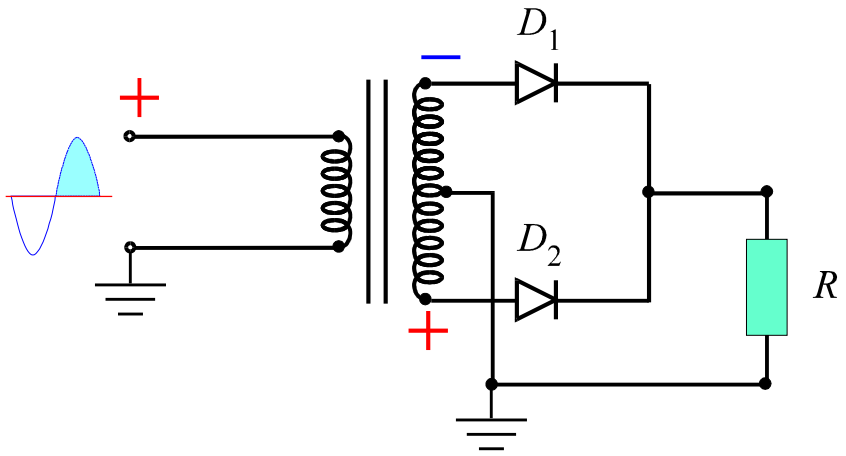


Fig.5 Circuito retificador de onda completa submetido a uma tensão positiva.

O circuito equivalente durante este semiciclo é, portanto, oposto àquele correspondente ao semiciclo negativo, conforme ilustrado na **Fig.6**. A corrente agora circula pela carga, através do diodo D_2 que está em condução. O fluxo de corrente mantém-se no mesmo sentido daquele obtido durante o semiciclo negativo, e a tensão no primário é transferida diretamente para a carga, conforme ilustrado na **Fig.6**.

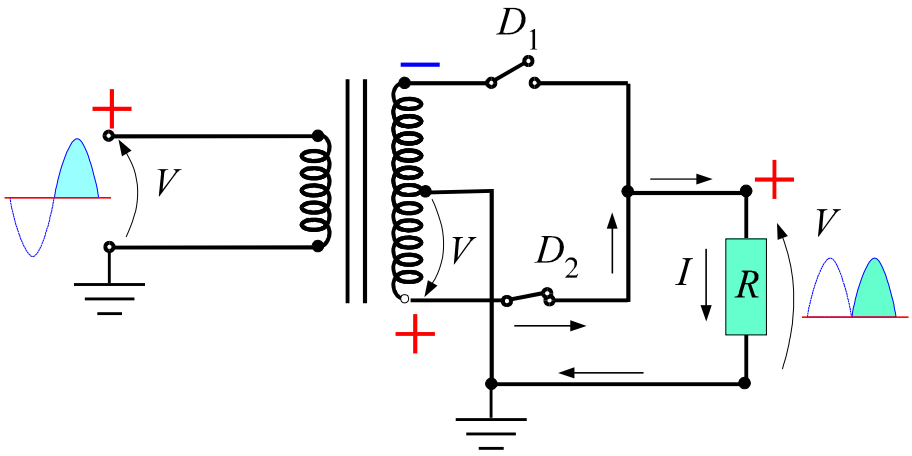


Fig.6 Circuito equivalente para o retificador de onda completa durante o semiciclo positivo.

Analisando-se, portanto, um ciclo completo da tensão de entrada, verifica-se que o circuito retificador transfere para a carga dois semiciclos de tensão positiva com relação à referência de potencial, conforme ilustrado na **Fig.7**, onde os diodos conduzem isoladamente em cada semiciclo.

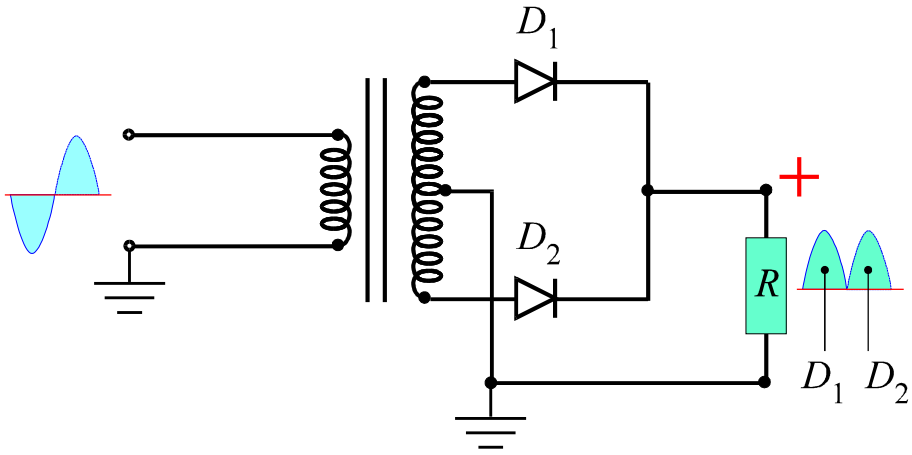


Fig.7 Resposta do retificador durante um ciclo completo na entrada.

TENSÃO E CORRENTE DE SAÍDA

Tensão de saída

A retificação de onda completa com derivação central transfere à carga dois semiciclos positivos de tensão para cada ciclo da tensão de entrada. Como a tensão de saída é formada de pulsos idênticos de tensão, o que é mostrado na **Fig.8**, a tensão *cc* que seria medida na carga pode ser obtida determinando-se o valor médio da tensão de saída em apenas um semiciclo da tensão de entrada.

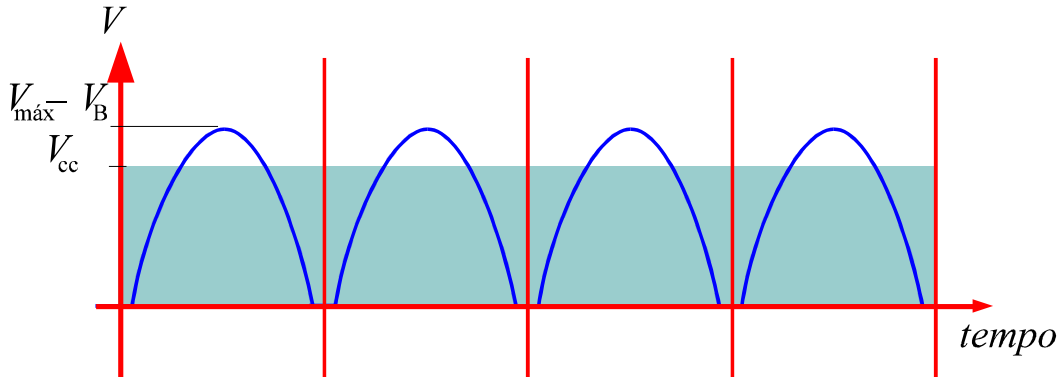


Fig.8 Dependência temporal da tensão na saída do retificador.

Com $V_{ca} > 10$ V, utiliza-se a **Eq.(4)**. Note-se, no entanto, que na **Fig.12** a posição dos diodos está invertida com respeito à configuração da **Fig.11**. Uma troca de sinal é, portanto, necessária no primeiro membro da **Eq.(4)**, fornecendo

$$-V_{cc} = 0{,}9\,V_{ca} = 0{,}9 \times 20 = 18\text{V}$$

$$\Rightarrow V_{cc} = -18\text{V}$$

Utilizando a **Eq.(5),** a corrente na carga é

$$I_{cc} = \frac{-18\text{V}}{820\,\Omega} = -21{,}9\text{ mA}$$

RETIFICAÇÃO DE ONDA COMPLETA EM PONTE

A retificação de onda completa em ponte utiliza quatro diodos semicondutores e transfere para a carga uma onda retificada, sem a necessidade de uso de um transformador com derivação central, conforme ilustrado na **Fig.13**.

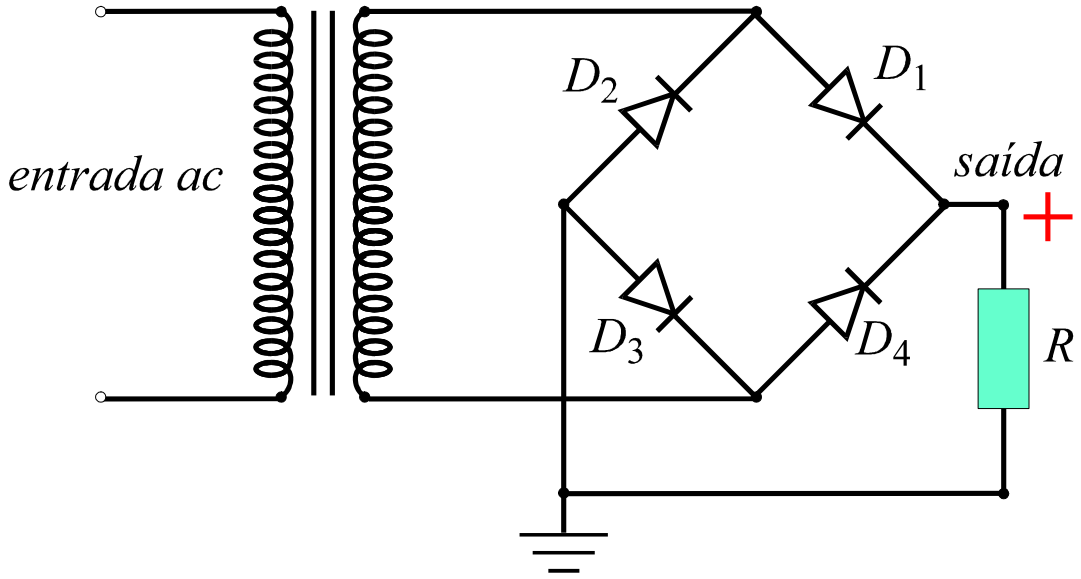


Fig.13 Retificador de onda completa com ponte de quatro diodos.

Esse tipo de configuração, também denominado de *Ponte de Graëtz*, tem o seu princípio de funcionamento descrito a seguir.

FUNCIONAMENTO

Semiciclo positivo

Considerando o semiciclo de tensão positiva na entrada do circuito ilustrado na **Fig.14**, uma inspeção das polarizações dos quatro diodos indica os regimes de operação listados na **Tabela 1**.

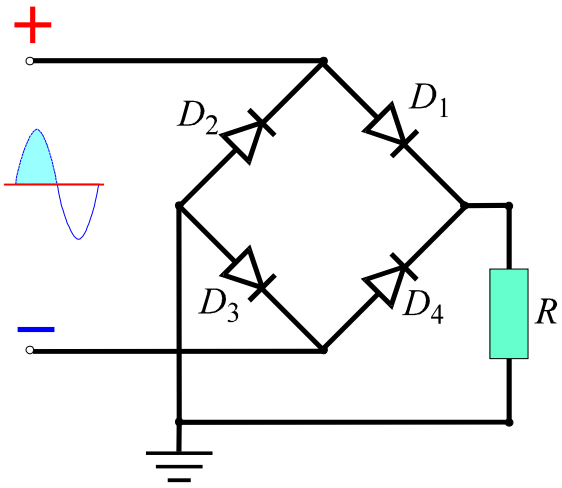


Fig.14 Retificador em ponte durante o semiciclo positivo.

Tabela 1 Polarizações e regimes de operação dos diodos durante o semiciclo positivo da tensão de entrada.

Diodo	Polarização	Regime de operação
D_1	ânodo positivo em relação ao cátodo	condução
D_2	cátodo positivo em relação ao ânodo	bloqueio
D_3	cátodo negativo em relação ao ânodo	condução
D_4	ânodo negativo em relação ao cátodo	bloqueio

Utilizando o modelo da chave ideal para o diodo, e as condições estabelecidas na **Tabela 1**, obtém-se o circuito equivalente apresentado na **Fig.15**.

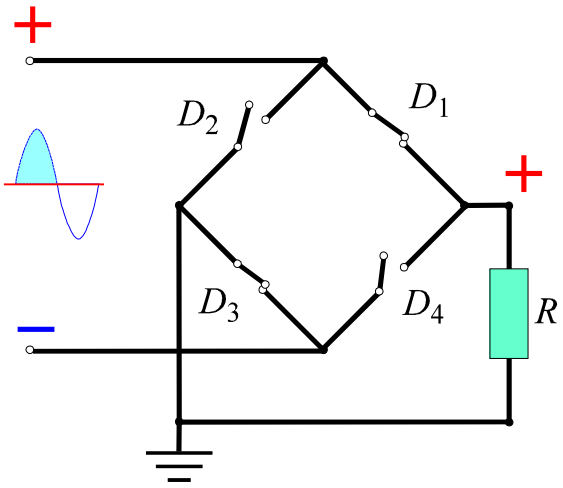


Fig.15 Circuito equivalente do retificador em ponte durante o semiciclo positivo.

Como as chaves em aberto não interferem no funcionamento do circuito, verifica-se que D_1 e D_3 em condução fecham o circuito elétrico, tornando os pontos *A* e *B* da **Fig.16** equivalentes. Dessa forma, a tensão de entrada é transferida para a carga**.**

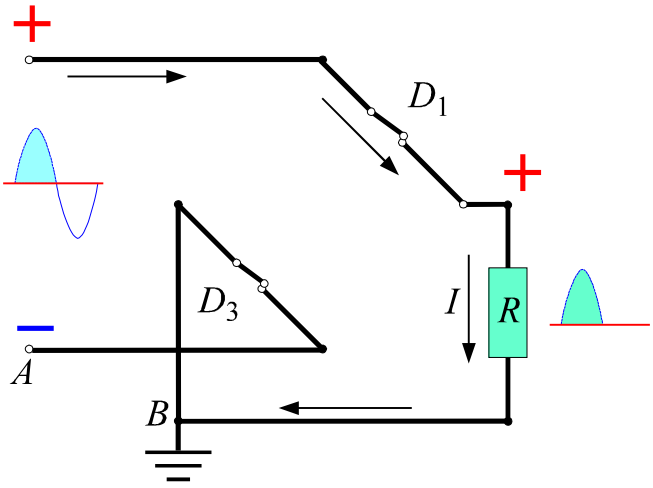


Fig.16 Simplificação do circuito da **Fig.15**.

Semiciclo negativo

Durante o semiciclo negativo, ocorre a inversão de polaridade nos terminais de entrada do circuito, conforme mostrado na **Fig.17** e os regimes de operação dos diodos são modificados conforme listado na **Tabela 2**.

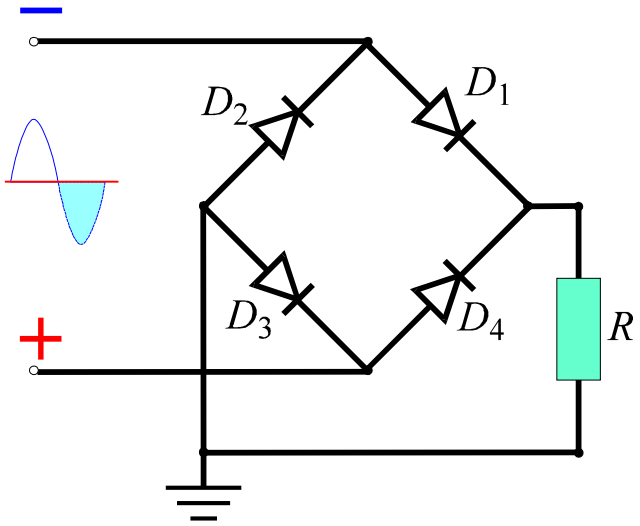


Fig.17 Retificador em ponte durante o semiciclo negativo.

Tabela 2 Polarizações e regimes de operação dos diodos durante o semiciclo negativo da tensão de entrada.

Diodo	Polarização	Regime de operação
D_1	ânodo negativo em relação ao cátodo	bloqueio
D_2	cátodo negativo em relação ao ânodo	condução
D_3	cátodo positivo em relação ao ânodo	bloqueio
D_4	ânodo positivo em relação ao cátodo	condução

Com base na **Tabela 2,** e utilizando-se novamente o modelo da chave ideal para o diodo, obtém-se o circuito equivalente mostrado na **Fig.18**.

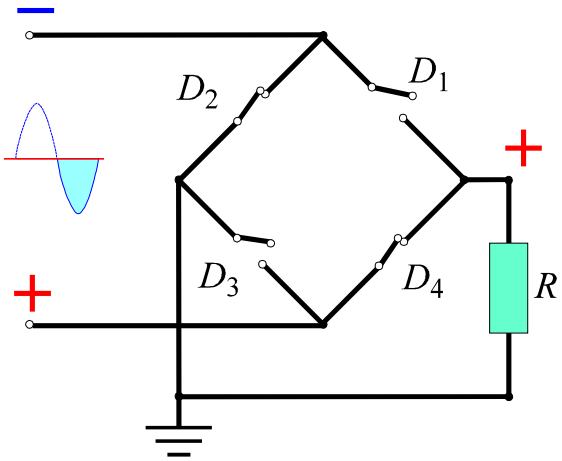


Fig.18 Circuito equivalente para a ponte retificadora durante o semiciclo negativo.

O circuito equivalente com as chaves em aberto removidas é mostrado na **Fig.19**. Um exame do circuito indica que a tensão de entrada é transferida, com uma inversão de sinal, para a carga. Como a tensão de entrada é negativa, aquela na carga permanece positiva, completando, assim, o processo de retificação.

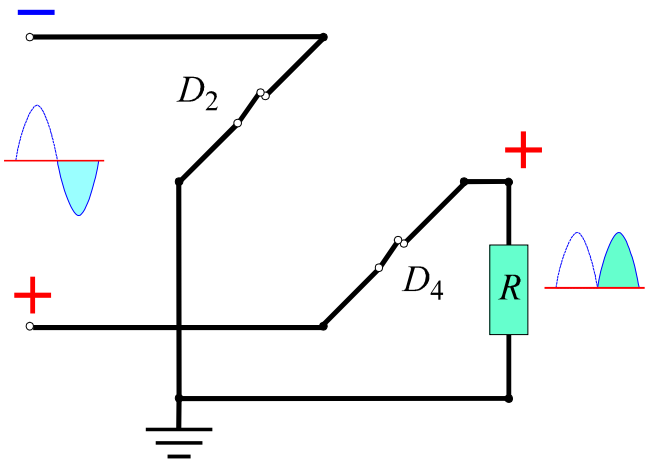


Fig.19 Circuito equivalente resultante do retificador em ponte durante o semiciclo negativo.

A **Fig.20** ilustra como a corrente flui no circuito durante o semiciclo negativo da tensão de entrada, onde se pode verificar que o fluxo de corrente se dá no mesmo sentido daquele obtido durante o semiciclo positivo.

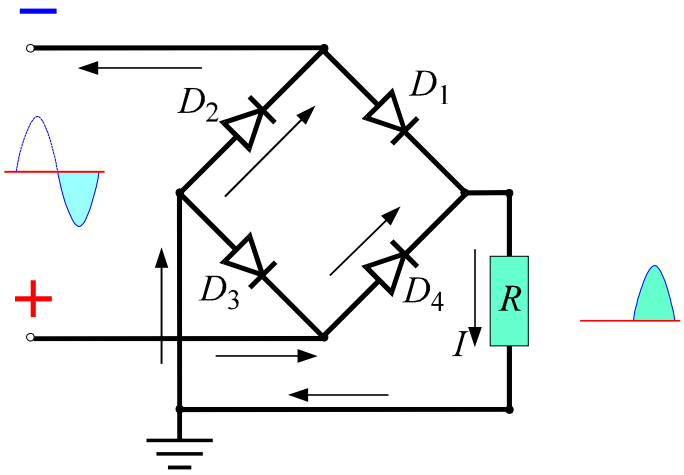


Fig.20 Fluxo de corrente na ponte retificadora durante o semiciclo negativo da tensão de entrada.

QUESTIONÁRIO

1. O que é retificação de onda completa?

2. Como se compara o rendimento de um retificador de onda completa em relação ao rendimento de um retificador de meia onda?

3. Quais os valores da tensão média e da tensão efetiva medidas na carga de um retificador de onda completa de derivação central submetido a uma entrada senoidal de 3 V? Admita que os diodos sejam de silício.

4. Repita a questão anterior para o caso de um retificador de onda completa com ponte de quatro diodos.

5. Quais são as vantagens do retificador em ponte em relação ao retificador com derivação central?

Filtros em fontes de alimentação

A tensão contínua pura se caracteriza por ter uma única polaridade e por um valor que não varia ao longo do tempo, como mostrado no gráfico da **Fig.1**.

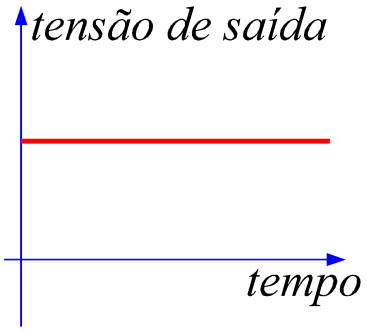


Fig.1 Tensão puramente contínua como função do tempo.

A tensão de saída produzida pelos circuitos retificadores, tanto de meia onda como de onda completa, toma a forma de uma série de pulsos. A **Fig.2** mostra esse tipo de tensão de saída para o caso do retificador de onda completa. Como pode ser aí observado, embora os pulsos de tensão sejam de mesma polaridade, existe uma variação no tempo do valor da tensão de saída.

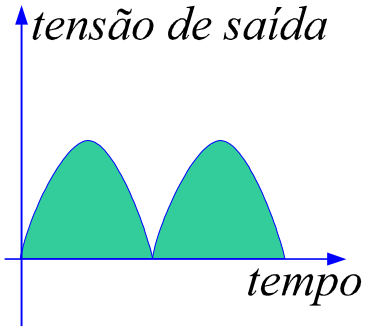


Fig.2 Dependência no tempo da tensão de saída de um retificador de onda completa.

Salvo em algumas situações, como por exemplo na saída dos carregadores de bateria convencionais, a tensão pulsada fornecida pelos circuitos retificadores comuns não é apropriada para uso em circuitos mais sofisticados cuja operação demanda um alto grau de pureza na tensão contínua de alimentação.

Essa deficiência presente no retificador comum é resolvida pelo emprego de um filtro conectado entre a saída do retificador e a carga, conforme ilustrado na **Fig.3**. O filtro atua no sentido de aproximar a tensão na carga, tanto quanto possível, da tensão contínua ideal, de valor constante como mostrado no gráfico da **Fig.1**.

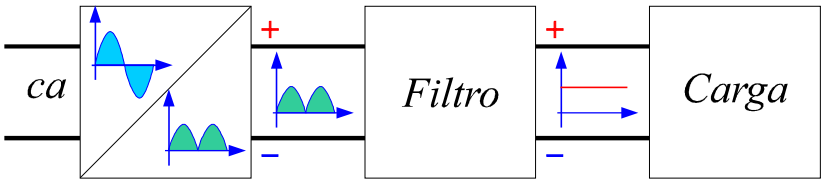


Fig.3 Diagrama de blocos de um circuito retificador com filtro na saída.

O CAPACITOR COMO ELEMENTO DE FILTRAGEM

A capacidade de armazenamento de energia elétrica dos capacitores pode ser utilizada como recurso para realizar um processo de filtragem na tensão de saída de um circuito retificador. Essa filtragem é realizada conectando-se o capacitor diretamente nos terminais de saída do circuito retificador, como mostrado nos dois diagramas da **Fig.4**.

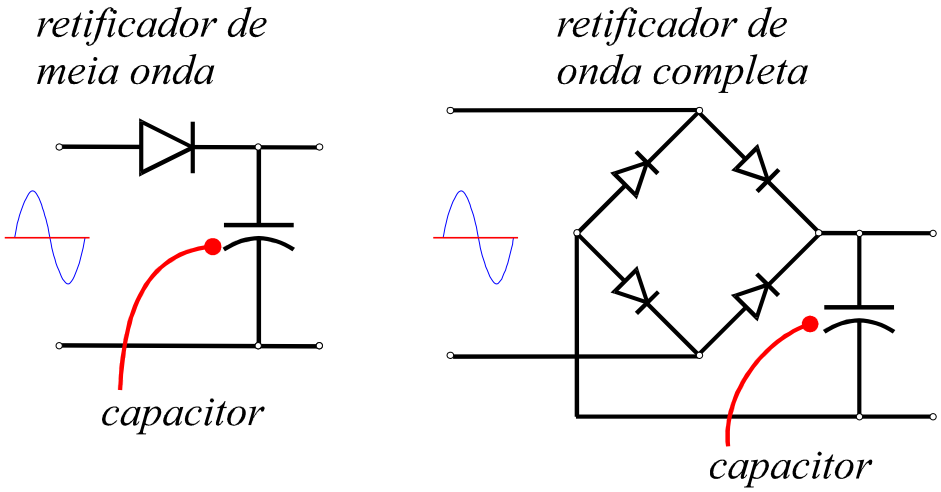


Fig.4 Circuitos retificadores de meia onda e onda completa com capacitor de saída.

Considere, por exemplo, a operação do retificador de meia onda com capacitor de saída. Nos intervalos de tempo em que o diodo entra em regime de condução, uma parte da corrente flui através da carga com a parte restante fluindo para o capacitor, como mostrado na **Fig.5**.

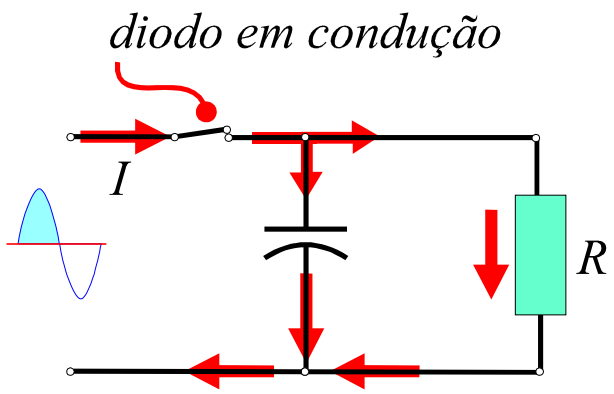


Fig.5 Operação do retificador de meia onda com capacitor de saída durante o regime de condução.

Nesses intervalos de tempo, carga elétrica é transferida da armadura conectada ao cátodo do diodo para a segunda armadura do capacitor.

Nos intervalos de tempo em que o diodo opera no regime de bloqueio, o capacitor inicia o processo de transferência da carga elétrica da armadura negativa para a positiva. Com o circuito retificador em bloqueio, não é possível a ocorrência de um fluxo de corrente através do circuito retificador. Conseqüentemente, a corrente produzida pela descarga do capacitor flui através do resistor de carga, conforme ilustrado na **Fig.6**.

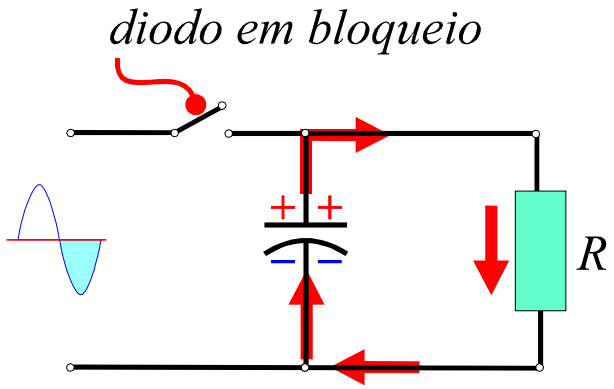


Fig.6 Operação do retificador de meia onda com capacitor de saída durante o regime de bloqueio.

Por estar em paralelo com o capacitor, o resistor de carga fica sempre submetido à mesma diferença de potencial existente entre as armaduras do capacitor. À medida que ocorre a descarga do capacitor, a diferença de potencial entre as armaduras diminui, como mostrado na **Fig.7**.

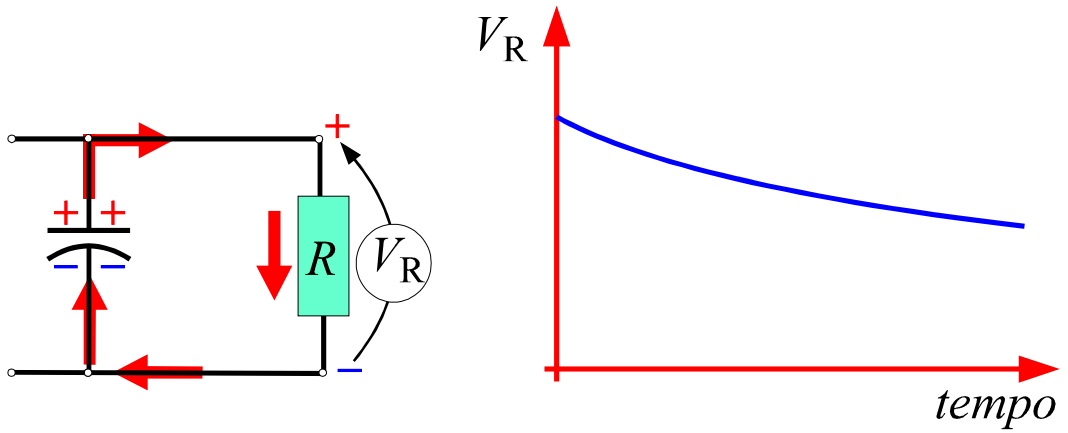


Fig.7 Tensão de saída do circuito retificador durante o processo de descarga do capacitor.

Esse processo de descarga continua até o momento em que a tensão na entrada atinje um valor V_1 suficiente para colocar o diodo novamente no regime de condução, como mostrado na **Fig.8**. Este valor V_1 é exatamente igual à tensão no capacitor após um certo intervalo de tempo de descarga. A partir desse instante de tempo, o ânodo do diodo torna-se positivo em relação ao cátodo, e a carga elétrica armazenada na armadura positiva do capacitor começa novamente a aumentar.

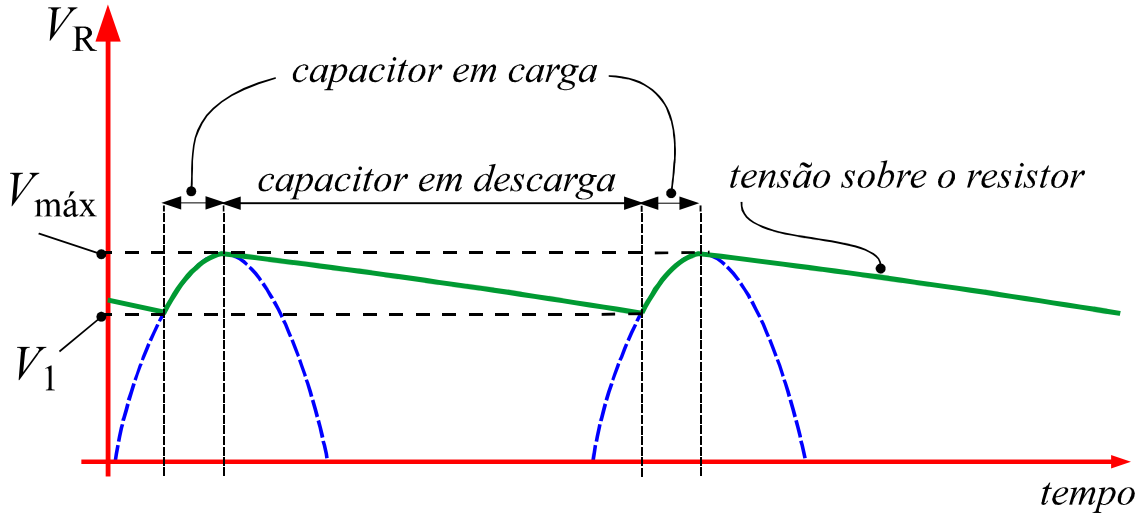


Fig.8 Gráfico da tensão de saída do retificador de meia onda com filtro capacitivo.

Observando-se o gráfico da **Fig.8**, nota-se que o diodo permanece em condução até o instante em que a tensão de entrada atinge o valor máximo $V_{máx}$. Dessa forma, a colocação do capacitor permite que a tensão de saída, embora variável, permaneça sempre próxima ao valor máximo $V_{máx}$, obtendo-se efetivamente um aumento no valor médio da tensão de saída.

O aumento no valor médio da tensão no resistor de carga pode ser observado comparando-se os gráficos das tensões de saída do circuito retificador com e sem filtro capacitivo, conforme ilustrado na **Fig.9.**

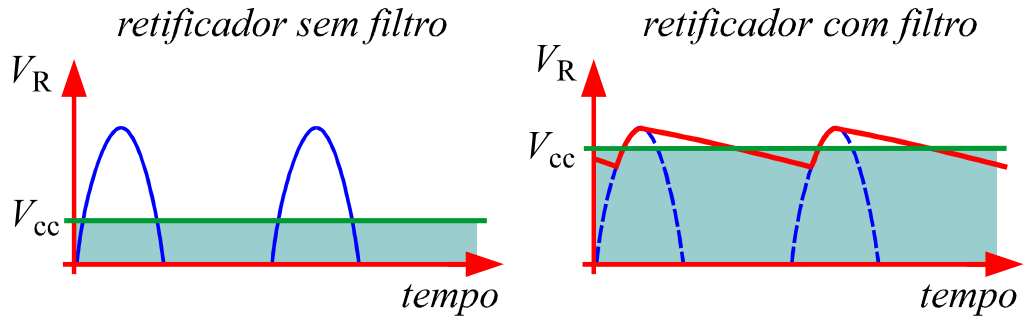


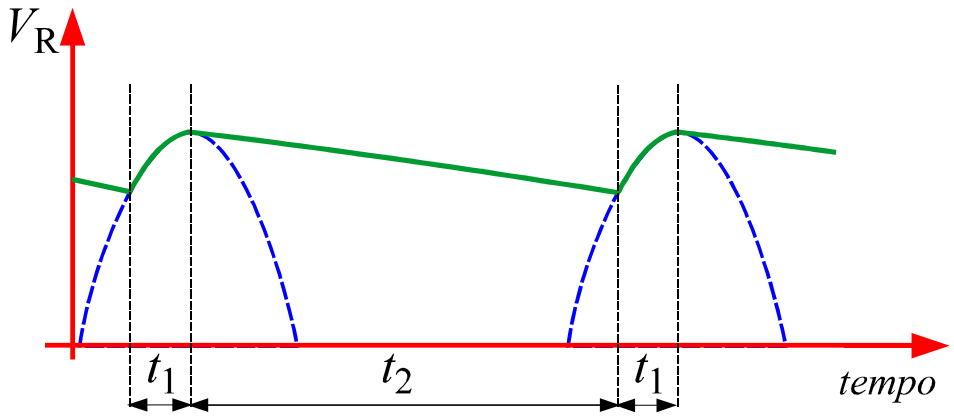
Fig.9 Comparação das tensões de saída do circuito retificador de meia onda com e sem filtro capacitivo.

A colocação de um capacitor na saída de um circuito retificador aumenta o valor da tensão média na carga.

TENSÃO DE ONDULAÇÃO

O capacitor na saída do circuito retificador sofre sucessivos processos de carga e descarga. Nos períodos de condução do diodo o capacitor sofre carga e sua tensão aumenta, enquanto nos períodos de bloqueio o capacitor descarrega e sua tensão diminui.

Os intervalos de tempo t_1 e t_2 indicados na **Fig.10** definem as durações dos processos de carga e descarga, respectivamente.



t_1 = intervalo de tempo do processo de carga do capacitor.
t_2 = intervalo de tempo do processo de descarga do capacitor.

Fig.10 Definição dos tempos de carga e descarga do capacitor.

Como se pode observar no gráfico da **Fig.11,** a tensão de saída não assume o valor constante característico de uma tensão puramente contínua, variando no tempo entre os valores extremos V_1 e $V_{máx}$. Essa variação na tensão de saída é denominada de ***ondulação***, termo derivado do inglês ***ripple***.

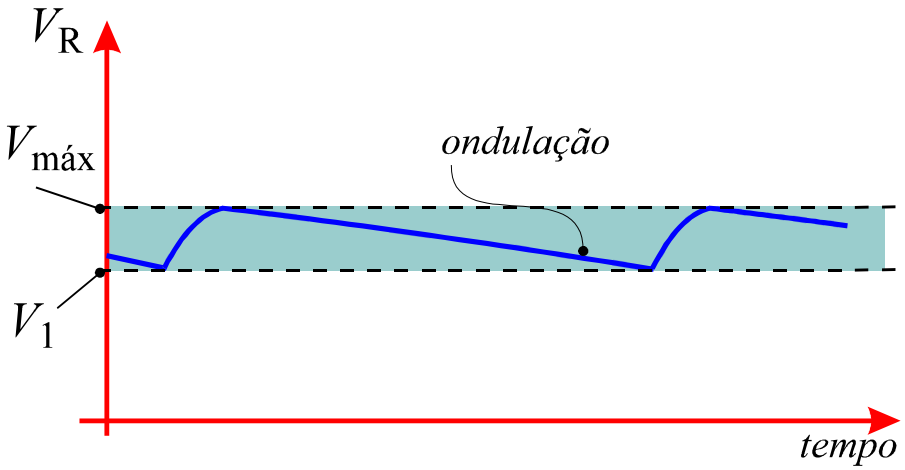


Fig.11 Ondulação na tensão de saída do circuito retificador de meia onda com filtro capacitivo.

Ondulação ou ripple, é a variação observada na tensão de saída do circuito retificador com filtro capacitivo.

Utilizando T = 16,6 ms, $I_{máx}$ = 150 mA e V_{ond} = 2 V, o uso da **Eq.(4)** fornece

$$C = 16{,}6 \times \frac{150}{2} \Rightarrow C = 1245\,\mu\text{F}$$

Exemplo 3: Repetir o **Exemplo 2** para o caso de um circuito de onda completa.

Neste caso, utiliza-se na **Eq.(4)** o valor T = 8,33 ms, que fornece

$$C = 8{,}33 \times \frac{150}{2} \Rightarrow C = 625\,\mu\text{F}$$

Ao se projetar uma fonte retificadora, além do valor da capacitância do filtro, deve-se, também, especificar sua tensão de isolação. A tensão de isolação deve ser sempre superior ao maior valor da tensão de operação do capacitor.

FILTRO CAPACITIVO IDEAL

O filtro capacitivo ideal seria aquele que possibilitasse a obtenção de uma tensão de saída não ondulada. Certamente este tipo de capacitor deveria exibir uma capacidade de armazenamento de carga elétrica elevadíssima para poder manter a tensão de saída absolutamente constante. Nota-se, portanto, que a utilização prática de um filtro capacitivo que produza pequena ondulação na saída requer uma certa ponderação:

Diminuir o percentual de ondulação implica no uso de filtros de alta capacitância, que além de serem mais volumosos, aumentam o custo do projeto.

Na prática, os filtros capacitivos normalmente utilizados na construção de fontes retificadoras são do tipo eletrolítico, pois esse tipo de filtro apresenta um alto valor de capacitância por unidade de volume.

Vale também observar que, se a tensão de ondulação de uma fonte retificadora é elevada demais para alimentação de um determinado equipamento, utilizam-se normalmente circuitos eletrônicos destinados especificamente à regulação da tensão de alimentação, evitando, assim, a necessidade de alteração do filtro capacitivo.

QUESTIONÁRIO

1. Qual o objetivo de utilização de um filtro na saída de um retificador?

2. O que ocorre com a tensão média na carga quando se coloca um capacitor em paralelo com a saída de um retificador?

3. O que é ondulação?

4. Qual a relação entre ondulação e qualidade de uma fonte retificadora?

5. Que fatores influenciam a ondulação?

6. Qual a tensão média na saída de um retificador de meia onda, com filtro, submetido a uma tensão de entrada com $V_{máx}$ = 10 V para uma tensão de ondulação de 1 V?

7. Que modo de operação deve ser utilizado em um osciloscópio para medição precisa da tensão de ondulação na saída de uma fonte retificadora com filtro?

8. Por que se utilizam capacitores eletrolíticos na construção de fontes retificadoras?

LED INFRAVERMELHO

Existem LEDs que emitem luz no infravermelho, que é uma forma de radiação invisível ao olho humano. Apesar de não se poder observar a luz emitida de um LED infravermelho, esse dispositivo apresenta o mesmo princípio de funcionamento dos LEDs convencionais.

LEDs infravermelhos são utilizados principalmente em alarmes residenciais e industriais, em dispositivos de controle remoto e em sistemas de comunicações ópticas.

UTILIZAÇÃO DO LED

O emprego do LED em tensões contínuas exige a fixação da sua corrente direta nominal. A limitação da corrente pode ser feita através de um resistor conectado em série com o LED.

A **Fig.8** ilustra o diagrama de um circuito retificador de onda completa que utiliza um LED como indicador de fornecimento da tensão de saída do circuito.

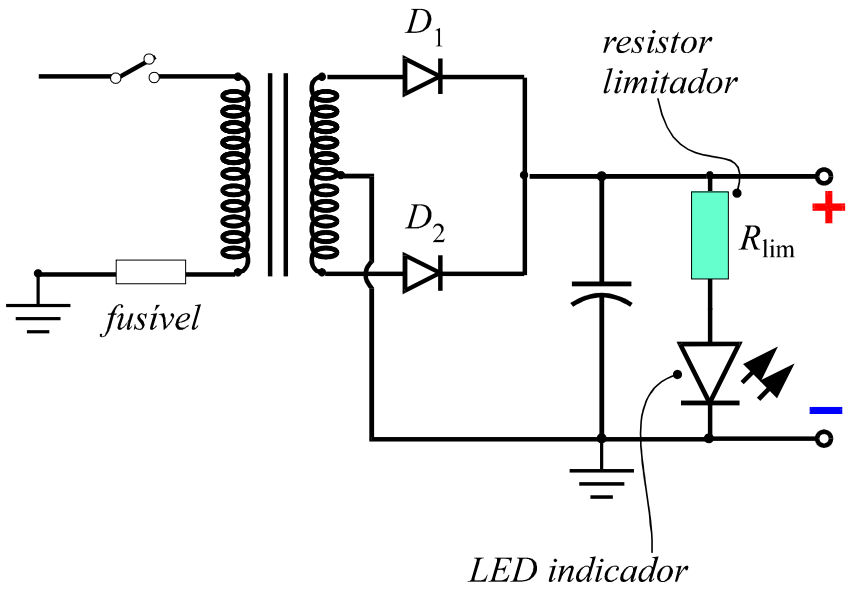


Fig.8 Circuito retificador de onda completa com LED indicador da tensão *cc*.

O valor de resistência do resistor limitador pode ser obtido da expressão

$$R_{\text{lim}} = \frac{V_{\text{cc}} - V_{\text{F}}}{I_{\text{F}}} \qquad (1)$$

onde

- V_{cc} = tensão de saída da fonte.
- V_{F} = tensão nominal de condução do LED.
- I_{F} = corrente nominal de condução do LED.

Exemplo 1: Determinar a resistência do resistor limitador para uma fonte que fornece uma tensão *cc* de 10 V, para utilização de um LED LD30C, como mostrador luminoso.

Da segunda linha da **Tabela 1**, tem-se que

$$V_{\text{F}} = 1{,}6 \text{ V} \ , \ I_{\text{F}} = 20 \text{ mA}$$

Utilizando o valor V_{cc}=10 V da **Tabela 1**, resulta,

$$R_{\text{lim}} = \frac{10 - 1{,}6}{0{,}02} = \frac{8{,}4}{0{,}02}$$

$$\Rightarrow \quad R_{\text{lim}} = 420 \ \Omega$$

Nessas condições, a potência dissipada no resistor seria,

$$P = (V_{\text{cc}} - V_{\text{F}}) \times I_{\text{F}} = (10 - 1{,}6) \times 0{,}02 = 8{,}4 \times 0{,}02$$

$$\Rightarrow \quad P = 168 \text{ mW}$$

QUESTIONÁRIO

1. O que é um diodo emissor de luz e qual a sigla utilizada para sua representação?

2. Quais as características principais de um diodo emissor de luz?

3. Qual a forma adequada de polarização de um diodo emissor de luz?

4. Que parâmetros são normalmente utilizados pelo fabricante para representar as condições e limites de operação de um diodo emissor de luz?

5. Que aplicações fazem uso do diodo emissor de luz que emite no infravermelho?

Diodo emissor de luz

O diodo emissor de luz é um tipo especial de junção semicondutora que emite luz quando diretamente polarizada. A sigla LED surgida do termo inglês *Light Emitting Diode,* é a denominação amplamente utilizada nas referências a esse componente.

A forma adotada para se representar o LED em diagramas de circuito é essa mostrada na **Fig.1.**

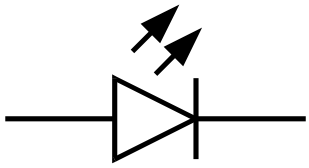


Fig.1 Representação de circuito de um diodo emissor de luz.

LEDs são encapsulados nas mais diversas configurações, algumas das quais estão ilustradas na **Fig.2.**

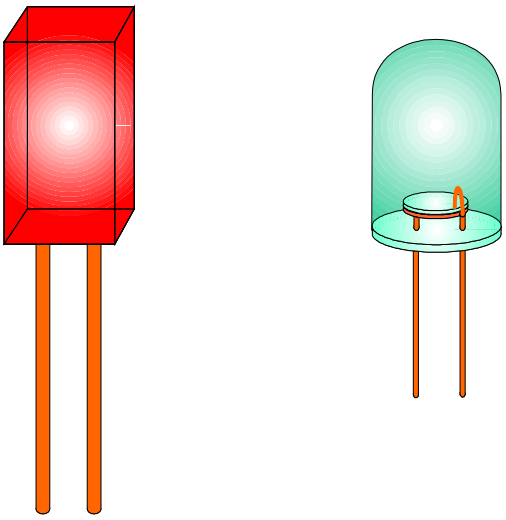


Fig.2 Alguns encapsulamentos típicos de LEDs.

O cátodo do LED pode ser identificado como sendo o terminal localizado próximo ao corte lateral na base do encapsulamento, conforme indicado na **Fig.3**.

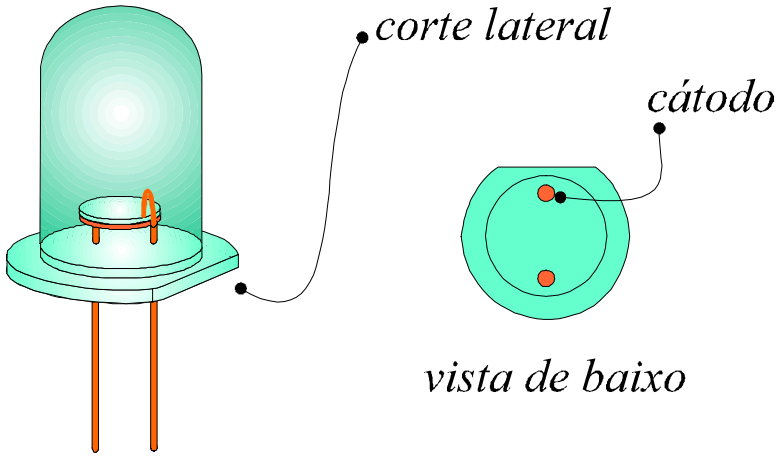


Fig.3 Identificação do cátodo de um tipo comum de LED.

LEDs são largamente utilizados como mostradores luminosos em uma variedade de equipamentos eletro/eletrônicos, em dispositivos de controle remoto, em sensores de alarmes residenciais ou industriais, ou mesmo como fontes de luz em sistemas de comunicações ópticas.

Dentre as características principais do diodo emissor de luz, pode-se destacar:

- Baixo consumo de energia.
- Imunidade a vibrações mecânicas.
- Pequenas dimensões.
- Alta durabilidade.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Como ilustrado na **Fig.4**, quando o diodo emissor de luz é polarizado diretamente, entra em condução, permitindo a circulação de corrente.

A corrente através do LED se processa através da injeção de lacunas provenientes do lado *p* e de elétrons, do lado *n* da junção. Dessa forma, uma grande quantidade de elétrons e lacunas coexistem em uma estreita região nas proximidades da junção.

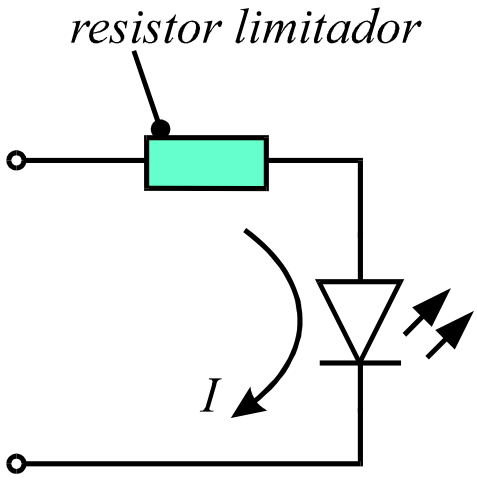


Fig.4 Diodo emissor de luz no regime de condução.

A coexistência de elétrons e lacunas possibilita a ocorrência de **processos de recombinação elétron/lacuna.** Recombinação é o nome que se dá ao processo de captura de elétrons por lacunas existentes nas ligações entre átomos do cristal semicondutor. Nesse processo, o elétron libera energia na forma de um fóton de luz, conforme ilustrado na **Fig.5**.

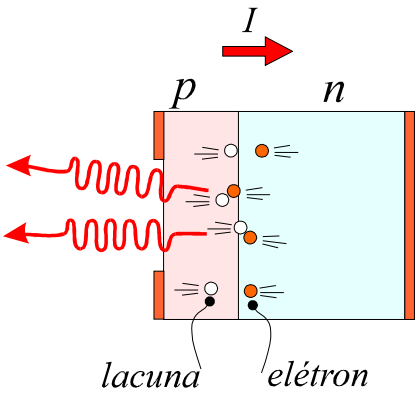


Fig.5 Emissão de fótons por processos de recombinação na junção *pn*.

PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DO LED

A seguir são apresentados alguns dos parâmetros de especificação de um LED.

CORRENTE DIRETA NOMINAL

A corrente direta nominal, denotada pelo parâmetro I_F é o valor de corrente de condução especificado pelo fabricante para o qual o LED apresenta

um rendimento luminoso ótimo. Esse valor é tipicamente 20mA para LEDs disponíveis comercialmente.

CORRENTE DIRETA MÁXIMA

A corrente direta máxima, denotada pelo parâmetro I_{FM}, corresponde ao valor máximo da corrente de condução que pode fluir através do LED, sem que este venha a sofrer ruptura estrutural.

TENSÃO DIRETA NOMINAL

A tensão direta nominal, denotada pelo parâmetro V_F é a especificação fornecida pelo fabricante para a queda da tensão típica através do LED quando a corrente de condução atinge o valor nominal I_F, como ilustrado na **Fig.6**.

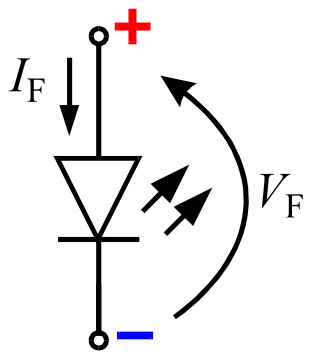


Fig.6 Queda de tensão e corrente nominais em um LED.

TENSÃO INVERSA MÁXIMA

A tensão inversa máxima, denotada pelo parâmetro V_R, é a especificação para o valor máximo da tensão inversa que pode ser aplicada ao LED sem que este venha a sofrer ruptura. A tensão inversa máxima em LEDs comerciais é tipicamente da ordem de 5V.

A **Tabela 1** lista as características de alguns LEDs disponíveis comercialmente.

Tabela 1 Parâmetros característicos de alguns LEDs comerciais.

LED	Cor	V_F (I_F = 20mA)	$I_{F\ máx}$
LD 30C	vermelho	1,6V	100mA
LD 37I	verde	2,4V	60mA
LD 35I	amarelo	2,4V	60mA

O diodo emissor de luz pode ser testado seguindo o mesmo procedimento de teste do diodo comum; ou seja, com o emprego de um multímetro selecionado para medição de resistência. O painel do instrumento deve indicar valores de alta e baixa resistência ao se alternar a posição dos terminais de conexão do multímetro aos terminais do LED. Geralmente o LED acende durante o teste com polarização direta.

OUTROS TIPOS DE LEDs

LED BICOLOR

O LED bicolor consiste essencialmente de dois LEDs colocados em um único encapsulamento, conforme ilustrado na **Fig.7**. Esse dispositivo tem três terminais, um dos quais é comum a ambos os LEDs do encapsulamento. A cor da luz emitida pode ser selecionada alimentando-se o par de terminais referente a essa cor.

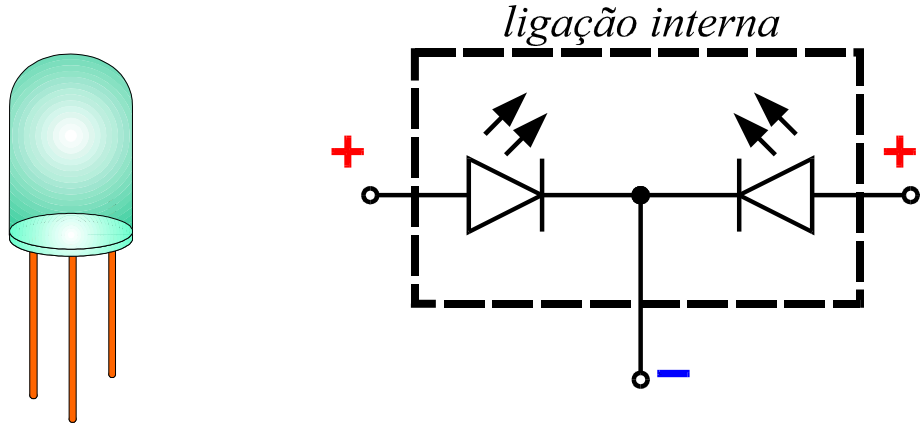


Fig.7 LED bicolor e representação de circuito das conexões elétricas.

Diodo Zener

O diodo Zener é um tipo especial de diodo utilizado como regulador de tensão. A sua capacidade de regulação de tensão é empregada principalmente nas fontes de alimentação, para obtenção de uma tensão de saída praticamente constante.

A **Fig.1** mostra o símbolo geralmente utilizado para representação do diodo Zener nos diagramas de circuito.

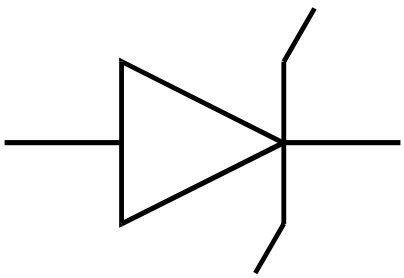


Fig.1 Símbolo de representação do diodo Zener.

COMPORTAMENTO DO DIODO ZENER

O comportamento do diodo Zener depende fundamentalmente da forma como é polarizado, conforme discutido a seguir.

POLARIZAÇÃO DIRETA

Quando polarizado diretamente, o diodo Zener se comporta como um diodo convencional; ou seja, operando no regime de condução com uma queda de tensão típica através de seus terminais.

A **Fig.2** mostra um circuito utilizado para polarizar diretamente um diodo Zener de silício, juntamente com a porção da curva característica representativa da região de condução do diodo.

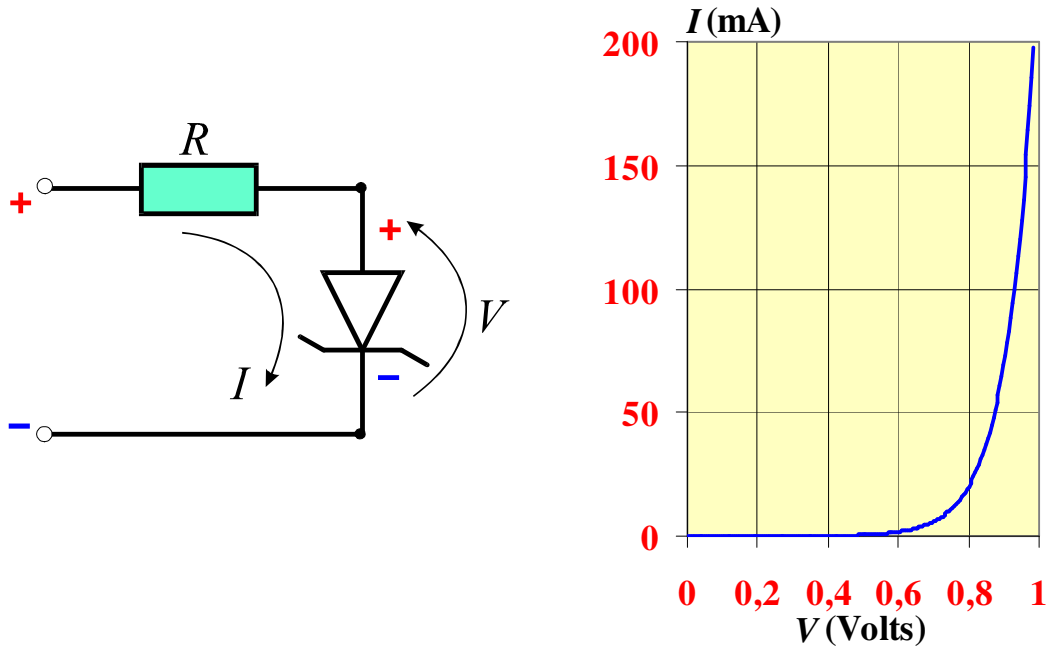


Fig.2 Diodo Zener polarizado diretamente e curva característica correspondente.

Normalmente o diodo Zener não é utilizado com polarização direta nos circuitos eletrônicos.

POLARIZAÇÃO INVERSA

Até um determinado valor da tensão inversamente aplicada, o diodo Zener comporta-se como um diodo comum, ou seja, operando no regime de bloqueio. Neste regime, circula através do diodo uma pequena corrente de fuga, conforme ilustrado no gráfico da **Fig.3**.

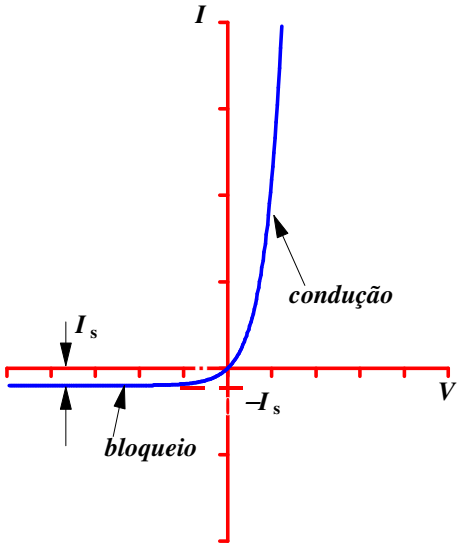


Fig.3 Regiões de condução e bloqueio na curva característica do diodo Zener.

Na **Fig.3**, o sinal negativo associado à corrente de fuga ou de saturação $(-I_s)$ indica que, no regime de bloqueio, a corrente flui no sentido inverso através do diodo.

A partir de um determinado valor da tensão inversa aplicada ao diodo, ocorre o efeito de **ruptura**, que faz com que o diodo entre subitamente em condução, mesmo estando submetido a uma polarização inversa, conforme ilustrado na **Fig.4**. A partir dessa condição, a corrente inversa aumenta rapidamente e a queda de tensão através do diodo se mantém praticamente constante.

O valor V_Z da tensão inversa a partir da qual o diodo Zener entra no regime de condução é denominado de **tensão Zener**.

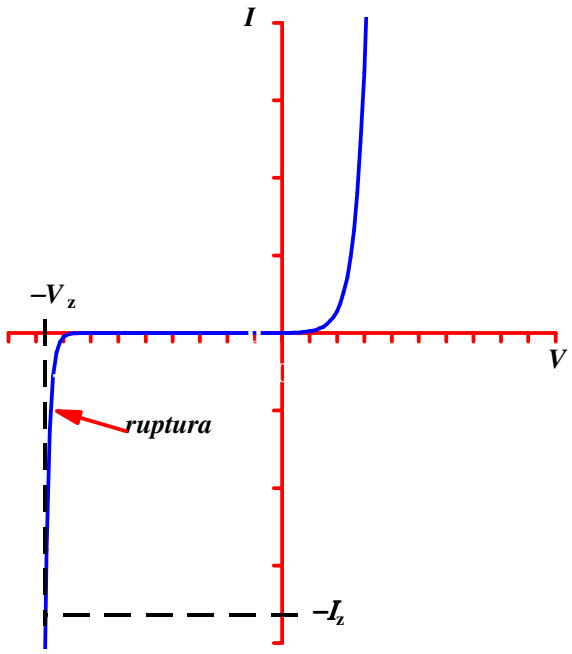


Fig.4 Efeito de ruptura em um diodo Zener.

O valor V_z da tensão inversa que coloca o diodo Zener em regime de condução é denominado de tensão Zener.

Enquanto houver corrente inversa fluindo através do diodo Zener, a tensão entre os seus terminais mantém-se praticamente fixada no valor V_Z.

O funcionamento típico do diodo Zener é com corrente inversa, o que estabelece uma tensão constante entre os seus terminais.

É importante observar que quando polarizado inversamente, qualquer junção semicondutora pode sofrer o efeito de ruptura. A diferença fundamental entre um diodo Zener e aquele aqui denominado de diodo comum ou convencional, reside no fato de o diodo Zener ser fabricado com materiais

semicondutores condicionados a resistir ao valor intenso da corrente inversa presente no regime de ruptura, ao passo que um diodo convencional seria danificado permanentemente se submetido às mesmas condições de operação.

CARACTERÍSTICAS DO DIODO ZENER

São os seguintes os parâmetros utilizados na caracterização do diodo Zener:

- Tensão Zener.
- Potência máxima de dissipação.
- Coeficiente de temperatura.
- Tolerância.

TENSÃO ZENER

O valor da tensão Zener, ou tensão de ruptura de um diodo é controlada durante o processo de fabricação e depende da resistividade da junção semicondutora. A escolha adequada das dimensões, tipo de material e grau de dopagem, possibilitam a operação normal do diodo mesmo quando submetido a alto valor de corrente inversa.

Os diodos Zener são fabricados com valores do parâmetro V_z que variam de 2 V até algumas dezenas de volts. O valor da tensão Zener é fornecido pelo fabricante nos folhetos técnicos do componente.

POTÊNCIA MÁXIMA DE DISSIPAÇÃO

O diodo Zener operando com uma tensão fixa V_z na região de ruptura, é percorrido por uma alta corrente inversa, dissipando, portanto, potência na forma de calor. A potência dissipada P_z pode ser obtida do produto

$$P_z = V_z I_z \qquad (1)$$

onde I_z é a corrente inversa de operação definida na **Fig.4**.

Cada diodo Zener pode operar até um valor máximo da potência de dissipação, valor este que assegura a operação normal do componente. Esse

limite de potência é fornecido pelo fabricante no folheto de especificações do diodo.

Utilizando as especificações do parâmetro V_z e da potência máxima de dissipação $P_{z,máx}$, a corrente inversa máxima de operação do diodo $I_{z,máx}$, pode ser calculada com o auxílio da **Eq.(1)**, resultando em

$$I_{z,máx} = \frac{P_{z,máx}}{V_z} \qquad (2)$$

O valor da corrente, calculado através da **Eq.(2)**, não pode ser excedido sob pena de danificação do diodo Zener por excesso de aquecimento.

Diodos Zener com potência máxima de dissipação de cerca de 1 Watt podem ser encontrados com encapsulamentos de vidro ou plástico. Para operação a níveis mais altos de potência, o componente é geralmente fabricado com um encapsulamento metálico, do tipo mostrado na **Fig.5** para facilitar a retirada de calor do material semicondutor, minimizando, assim, o aquecimento.

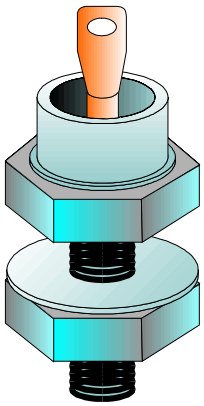


Fig.5 Encapsulamento de um diodo Zener de alta potência.

A faixa de valores de corrente de operação do diodo Zener ilustrada na **Fig.6**, é determinada por dois valores limite, assim definidos:

- $I_{z,máx}$ = valor máximo da corrente de operação.
- $I_{z,mín}$ = valor mínimo da corrente de operação.

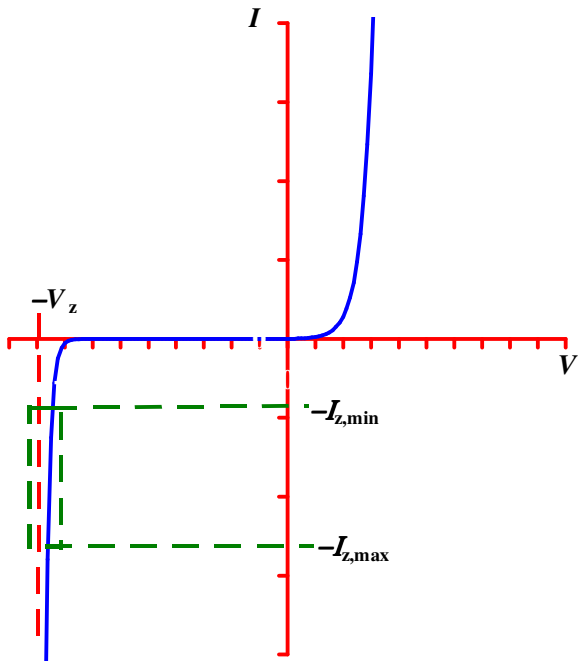


Fig.6 Limites de operação do diodo Zener na curva característica.

O valor máximo é calculado com o uso da **Eq.(2)**, e o valor mínimo é definido como 10% do valor máximo; ou seja,

$$I_{z,mín} = \frac{I_{z,máx}}{10} \qquad (3)$$

COEFICIENTE DE TEMPERATURA

Os diodos Zener são fabricados com materiais semicondutores, que sofrem influência da temperatura. Esta influência se traduz em variações no valor da tensão Zener, a partir de variações na temperatura de operação.

Esse efeito é pré-especificado pelo fabricante, sendo caracterizado na forma de um **coeficiente de temperatura** que permite determinar de quantos milivolts varia o valor V_z para cada grau centígrado de variação da temperatura.

Devido a uma diferença existente entre os dois mecanismos responsáveis pela produção da corrente de ruptura em um diodo Zener, o coeficiente de temperatura pode ser positivo ou negativo. Essa diferença permite classificar dois grupos distintos de componente conforme discriminado na **Tabela 1**.

Tabela 1 Divisão de componentes em dois grupos de acordo com o sinal do coeficiente de temperatura.

Tensão Zener	Coeficiente de temperatura (mV/°C)	Observação
$V_z \leq 6V$	Negativo	A tensão Zener diminui com o aumento da temperatura
$V_z > 6V$	Positivo	A tensão Zener aumenta com o aumento da temperatura.

A curva característica da **Fig.7** ilustra a dependência térmica da tensão Zener para um componente com coeficiente de temperatura positivo.

Os valores da tensão Zener constantes nos folhetos técnicos são definidos para uma temperatura de operação de 25ºC.

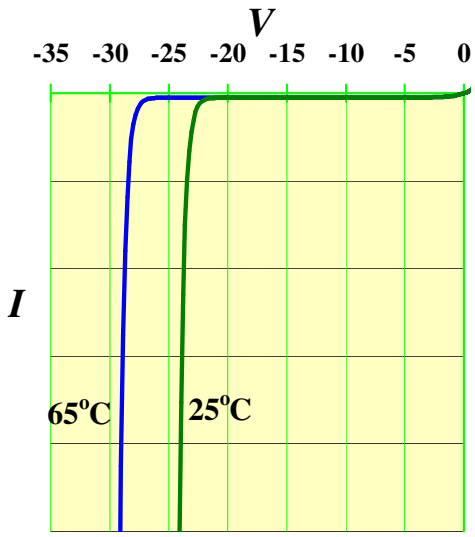


Fig.7 Variação da curva característica de um diodo Zener com coeficiente de temperatura positivo.

TOLERÂNCIA

A tolerância do componente especifica a variação que pode existir entre o **valor especificado** e o valor real da tensão inversa de operação do diodo Zener. Isso significa que um diodo Zener de 12 V pode ter uma tensão inversa real, por exemplo, de 11,5 V.

A tolerância juntamente com os parâmetros de operação são especificados pelos fabricantes por um código de identificação do componente, conforme descrito na **Tabela 2**.

Tabela 2 Formas de especificação da tolerância de diodos Zener a partir dos códigos de identificação.

Tolerância	Especificação da tolerância	Exemplo
5%	O último elemento do código de identificação é a letra *A*	**Cód. de ident.: 1N4742 A** Caracteriza um diodo Zener de 12V, 1W, com tolerância de 5%
10%	O último elemento do código de identificação é um numeral	**Cód. de ident.: 1N4733** Caracteriza um diodo Zener de 5,1V, 1W, com tolerância de 10%

A tolerância de 5% do componente 1N4742A especificado na **Tabela 2,** indica que a tensão Zener pode variar no intervalo 11,4 V ≤ V_z ≤ 12,6 V. Já o componente 1N4733, de 10% de tolerância, teria uma tensão Zener situada no intervalo 4,6 V ≤ V_z ≤ 5,6 V.

DIODO ZENER IDEAL VERSUS REAL

O diodo Zener ideal é definido como aquele que, operando no regime de ruptura, mantém a tensão absolutamente constante independente da corrente inversa fluindo através de seus terminais.

A **Fig.8** mostra a região de ruptura da curva característica de um diodo Zener considerado ideal. Como pode ser aí observado, tal dispositivo seria capaz de manter a tensão fixada em um valor constante V_z para valores distintos da corrente inversa através do diodo.

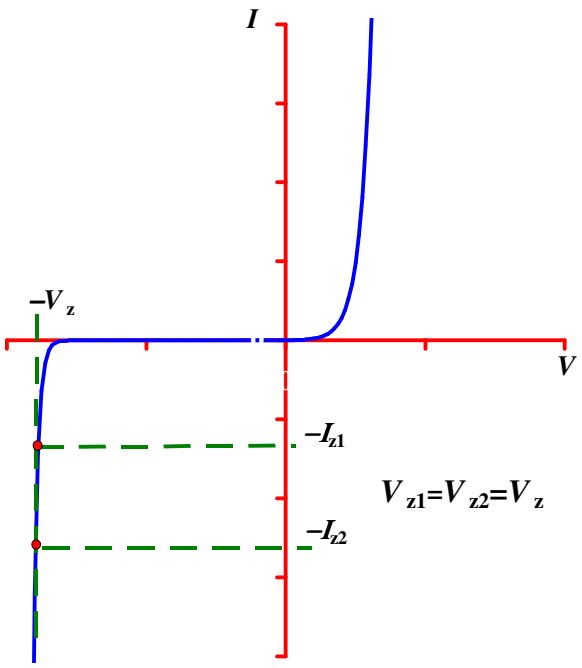


Fig.8 Região de ruptura na curva característica de um diodo Zener ideal.

A região de ruptura de um diodo Zener real é caracterizada por uma pequena variação da tensão Zener quando a corrente inversa é alterada, conforme ilustra o gráfico da **Fig.9**. Porém, considerando que a variação em V_z seja muito pequena, o diodo Zener pode ser considerado ideal na maioria das aplicações de interesse prático.

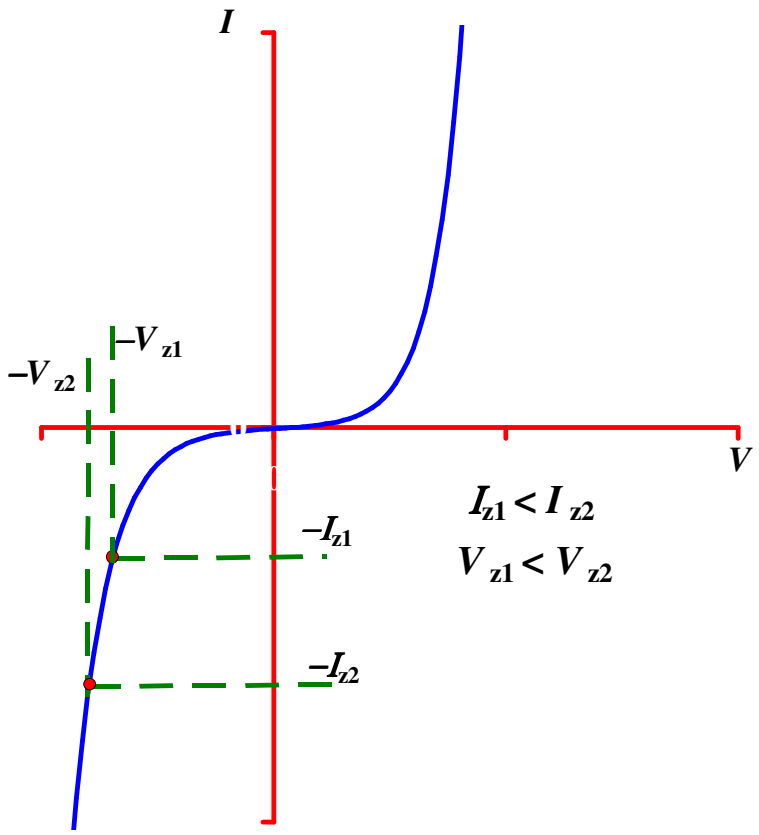


Fig.9 Região de ruptura na curva característica de um diodo Zener real.

QUESTIONÁRIO

1. Qual a forma adequada de polarização de um diodo Zener e qual a sua principal aplicação em eletrônica?

2. Descreva o fenômeno que ocorre a partir da aplicação de uma tensão inversa em um diodo Zener.

3. Que parâmetros são utilizados na caracterização de um diodo Zener?

4. O que é coeficiente de temperatura de um diodo Zener?

O diodo Zener como regulador de tensão

O comportamento do diodo Zener na região de ruptura permite a montagem de circuitos reguladores de tensão, a partir de fontes que forneçam tensões onduladas, incluindo situações em que a carga apresente um consumo variável. Um diagrama representativo de um circuito regulador de tensão a diodo Zener na saída de uma fonte de alimentação é ilustrado na **Fig.1.**

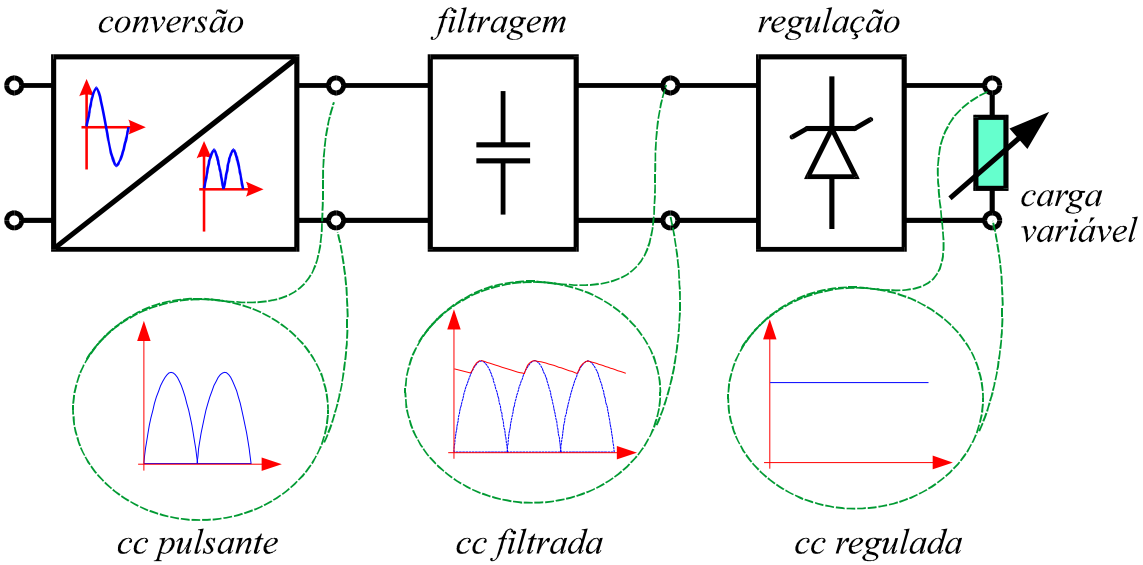


Fig.1 Diagrama de blocos e formas de onda associadas aos três estágios de uma fonte de alimentação regulada a diodo Zener.

Para que o diodo Zener opere adequadamente como regulador de tensão é necessário introduzir um resistor que limite a corrente inversa através do diodo a um nível inferior ao valor máximo especificado pelo fabricante, conforme indicado na **Fig.2**. Como pode ser aí observado, o diodo deve ser conectado em paralelo com a carga, que fica assim submetida à mesma tensão existente entre os terminais do Zener.

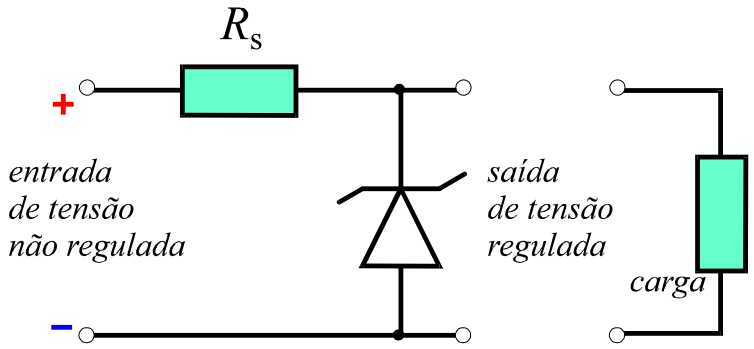


Fig.2 Diagrama de um circuito regulador a diodo Zener, com um resistor limitador de corrente.

FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO REGULADOR

O circuito regulador com diodo Zener deve ser alimentado na entrada com uma tensão pelo menos 40% superior ao valor da tensão Zener, para que possa efetuar adequadamente a regulação. Por exemplo, se a tensão regulada for especificada com um valor de 6V o circuito regulador deve utilizar um diodo Zener com V_Z = 6V e ser alimentado com uma tensão de entrada de pelo menos 8,5V, como mostra a **Fig.3**.

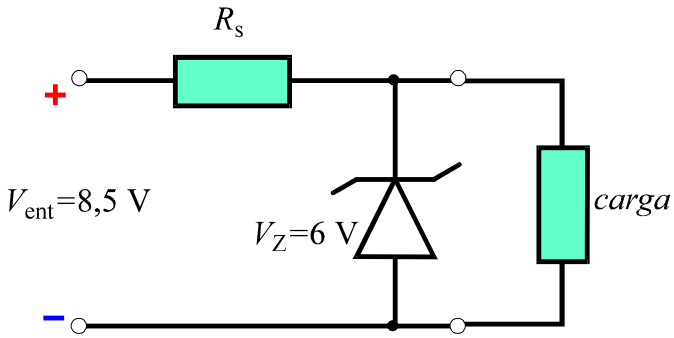


Fig.3 Um possível diagrama de circuito para obtenção de uma saída regulada de 6V.

Com base no diagrama de circuito mostrado na **Fig.4**, a corrente através do resistor limitador é dada pela soma

$$I_s = I_z + I_R \qquad (1)$$

onde:

- I_s = corrente através do resistor R_s;
- I_z = corrente inversa no diodo Zener;
- I_R = corrente de carga.

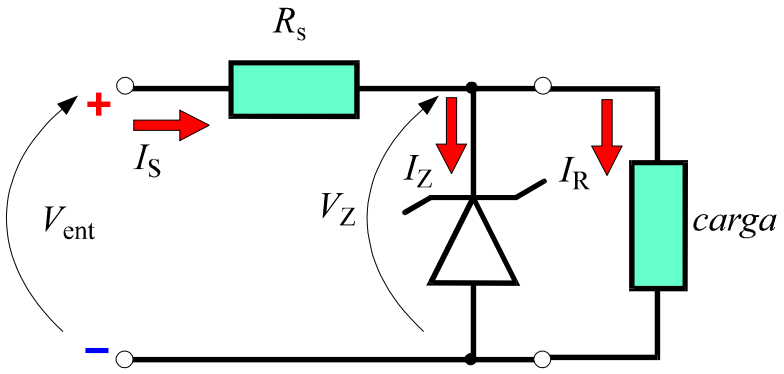


Fig.4 Correntes através dos elementos do circuito da **Fig.3**.

Com o diodo Zener operando na região de ruptura, a corrente através do resistor limitador é tal que a queda de tensão se torna

$$V_s = V_{ent} - V_z \qquad (2)$$

onde:

- V_s = queda de tensão no resistor limitador.
- V_{ent} = tensão de entrada.

Existem três possibilidades de variação nas condições de operação da fonte regulada:

- Variações no nível de tensão de entrada.
- Variações na corrente de carga.
- Variações no nível de tensão de entrada e na corrente de carga.

A operação do circuito regulador mediante essas condições é analisada a seguir.

VARIAÇÕES NO NÍVEL DE TENSÃO DE ENTRADA

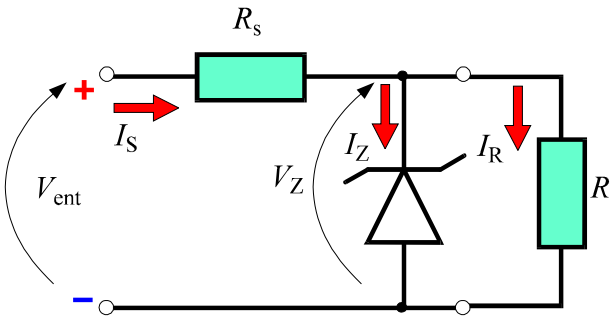
Esta situação é muito comum em circuitos eletrônicos alimentados pela rede elétrica *ca*, como resultado da ondulação na tensão *cc* obtida a partir do processo de retificação com ou sem filtro capacitivo de saída. O comportamento do circuito regulador operando sob estas condições é discutido a seguir.

Acréscimo no nível de tensão de entrada

Quando ocorre um acréscimo no nível da tensão de entrada, esse aumento normalmente tenderia a ser transferido diretamente para a carga. Entretanto, o diodo Zener estando em paralelo com a carga mantém a tensão de saída constante.

A **Fig.5a** mostra o circuito regulador submetido a um acréscimo na tensão de entrada que varia de um valor $V_{ent}(t_1)$ até um valor $V_{ent}(t_2)$ entre os instantes de tempo t_1 e t_2, de acordo com o gráfico da **Fig.5b**. A este aumento de tensão deve corresponder um aumento de corrente no circuito.

(a) Circuito regulador



(b) Tensão de entrada

(c) Tensão no diodo Zener

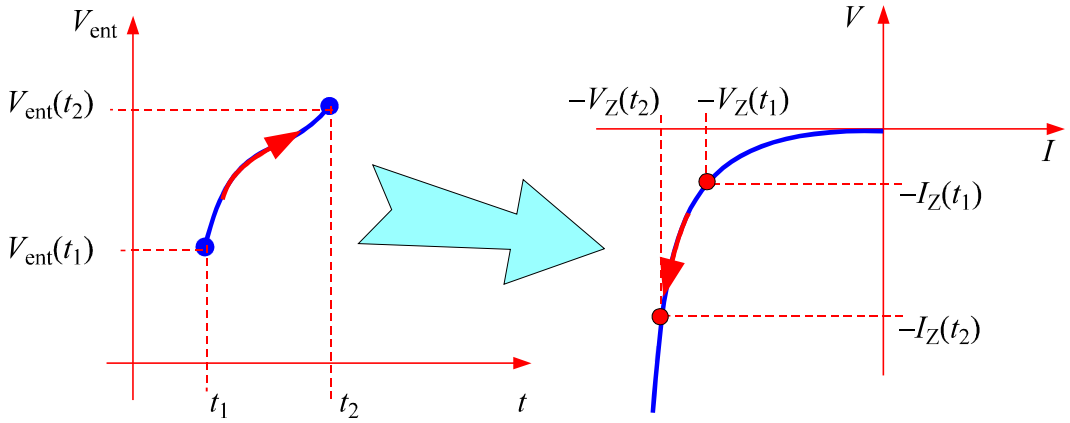


Fig.5 (a) Circuito regulador a diodo Zener, com o gráfico ilustrativo do aumento na tensão de entrada em **(b)** e o aumento correspondente na corrente através do diodo em **(c)**.

O aumento de corrente no circuito ocorre exclusivamente através do diodo Zener, conforme se pode verificar a partir da curva característica mostrada na **Fig.5c**. Como pode ser aí observado, a corrente através do diodo que no instante

t_1 valia $I_z(t_1)$, aumenta para um valor $I_z(t_2)$. Isso faz que a tensão através do diodo aumente do valor $V_z(t_1)$ para o valor $V_z(t_2)$. No entanto, como a região de ruptura na curva característica é praticamente vertical, a variação na tensão Zener é muito pequena, fazendo que a tensão na carga permaneça praticamente constante.

FONTE DE ALIMENTAÇÃO COM TENSÃO DE SAÍDA REGULADA A DIODO ZENER

Uma fonte de alimentação com tensão de saída regulada a diodo Zener se compõe basicamente dos três blocos representados na **Fig.10**.

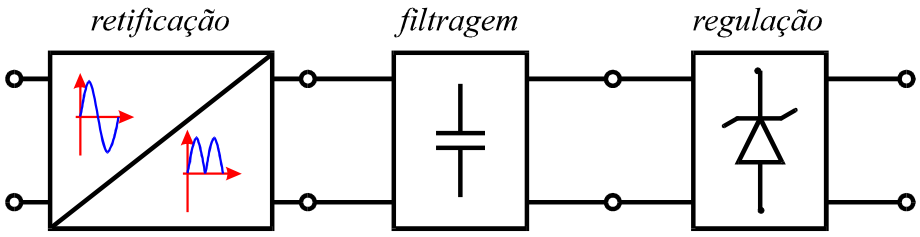


Fig.10 Diagrama de blocos representativo de uma fonte de alimentação regulada a diodo Zener.

Os blocos do diagrama da **Fig.10** realizam as seguintes funções:

- **Retificação:** A tensão *ca* da rede elétrica é transformada em *cc* pulsada.
- **Filtragem:** A tensão *cc* pulsada é filtrada, fornecendo uma saída ondulada próxima à tensão *cc* ideal.
- **Regulação:** A tensão *cc* ondulada é transformada em uma tensão *cc* praticamente constante, como mostrado na **Fig.11**.

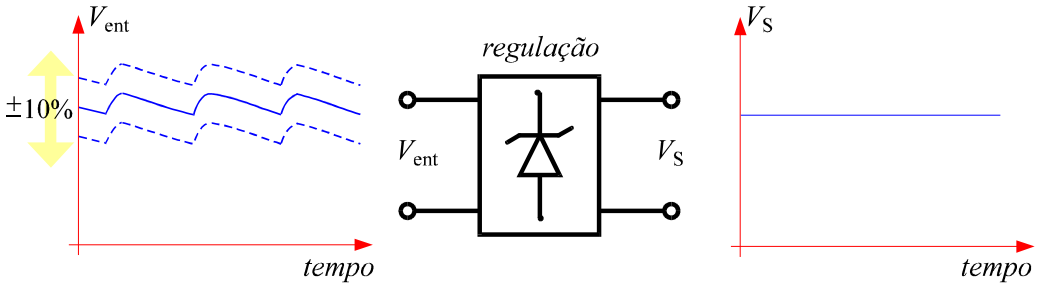


Fig.11 Efeito do bloco regulador sobre a forma de tensão ondulada existente na saída do filtro de um circuito retificador.

A **Fig.12** ilustra o aspecto de uma placa de circuito impresso configurada para implementação de uma fonte *cc* com tensão de saída regulada a diodo Zener, e os blocos correspondentes ao diagrama da **Fig.10**. O reparo ou teste de um circuito desse tipo pode ser realizado com base no fluxograma mostrado na **Fig.13**.

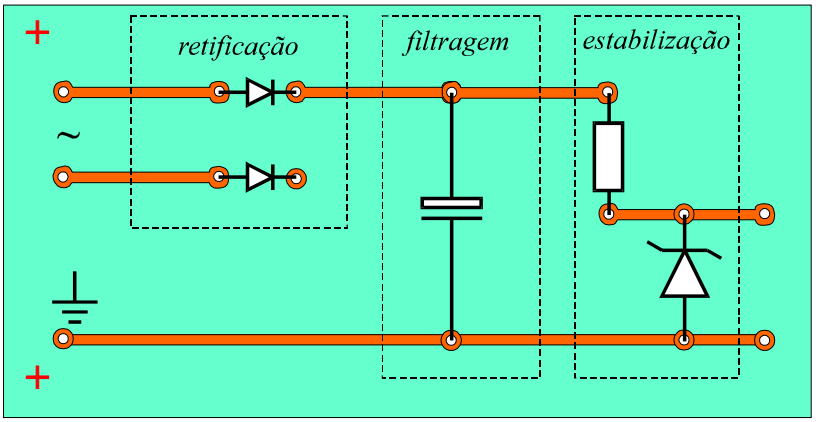


Fig.12 Placa de circuito impresso de uma fonte *cc* regulada a diodo Zener.

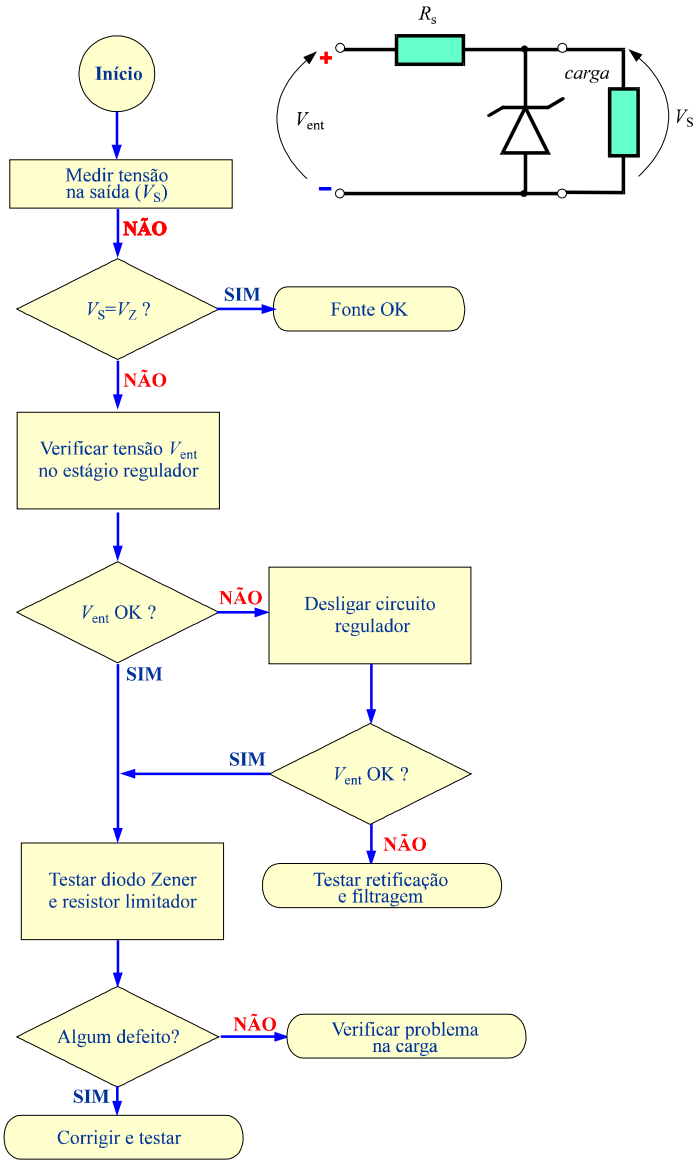


Fig.13 Fluxograma utilizado para o reparo ou teste de uma fonte *cc* regulada a diodo Zener.

QUESTIONÁRIO

1. Qual a principal utilização do diodo Zener?

2. Para que um regulador a diodo Zener opere adequadamente, quão maior deve ser a tensão de entrada com relação à tensão regulada?

3. Descreva os efeitos produzidos em um circuito regulador quando ocorre um aumento na tensão de entrada.

4. Repita a questão 3 no caso de ocorrer uma diminuição na tensão de entrada.

5. Como se comporta um regulador a Zener perante variações na corrente de carga?

BIBLIOGRAFIA

SCHUSTER, KARL. **Constituição da Matéria**: EP 01 [Aufbau der Materie] Traduzido e adaptado pelo Setor de Divulgação Tecnológica, Siemens. 2.ª ed. São Paulo, Siemens/Edgard Blücher, 1977, 62p.

VAN VALKENBURG, NOOGER & NEVILLE. **Eletricidade Básica**, 15.ª ed., São Paulo, Freitas Bastos, vol. 1, 1970.

LANG, JOHANNES G. **Corrente, tensão, resistência**: EP 02 [Strom, - Spannung - Widerstand] Traduzido e adaptado pelo Setor de Divulgação Tecnológica, Siemens. 2.ª ed. São Paulo, Siemens/Edgard Blücher, 1977, 73pp.

SENAI/Departamento Nacional. **Grandezas elétricas**. Rio de Janeiro, Divisão de Ensino e Treinamento, 1980, 65p. (Módulo Instrucional: Eletricidade-Eletrotécnica, 2).

KOLLER, ALOIS. **O circuito elétrico**: EP 03 Der elektrische Stromkreis Trad. e adaptado pelo setor de Divulgação Tecnológica, Siemens. São Paulo, Siemens, 1975, 60pp.

SENAI: Departamento Nacional, **Circuito elétrico**. Rio de Janeiro, Divisão de Ensino e Treinamento, 1980, 49pp (Módulo Instrucional: Eletricidade - Eletrotécnica, 4).

HÜBSCHER, HEINRICH ET ALII. **Electrotecnia**, curso elemental. Elektrotechnik Grundstufe Barcelona, Reverté, c 1983, 296 pp.

LOUREIRO, HÉLIO ALBUQUERQUE & FERNANDES, LUIZ EDUARDO PENNA. **Laboratório de dispositivos eletrônicos**. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1982, 305pp.

SENAI/ Departamento Nacional, **Associação de resistores**, Divisão de Ensino e Treinamento, 1980, 71p. (Módulo Instrucional: Eletricidade-Eletrotécnica, 6).

SENAI/Departamento Nacional. **Lei de Ohm**, Rio de Janeiro, Divisão de Ensino e Treinamento, 1980, 91p (Módulo Instrucional: Eletricidade-Eletrotécnica,5)

SENAI/DN **Reparador de Circuitos Eletrônicos**, Eletrônica Básica I. Rio de Janeiro (Coleção Básica SENAI. Módulo 1).

ZBAR, PAUL B. **Instrumentos e medidas em eletrônica**, Práticas de Laboratório. Trad. Aracy Mendes da Costa. São Paulo, McGraw Hill, 1978, 22p.

BOYLESTAD, ROBERT & NASHELSKY, LOUIS. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos.** 3.ª ed., S.1, Prentice-Hall. 1984.

DEGEM SYSTEMS. **Eletrônica elementar**. Israel, Eletrônica Modular Pantec, c1976, 141p. ilust.

MARCUS, ABRAHAM. **Eletricidade Básica**. Trad. de Ernest Muhr. São Paulo, Importadora de livros, c1964. 194p. ilust.

SENAI/Departamento Nacional. **Impedância**. Rio de Janeiro, Divisão de Ensino e Treinamento, 1980, 91p. (Módulo Instrucional: Eletricidade - Eletrotécnica, 18).

VAN VALKENBURG, NOOGER & NEVILLE. **Eletricidade Básica**. Trad. J.C.C. Walny e outros. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, c1971. vol.3 ilust.

ARNOLD, Roberts & BRANDT, Hans. Retificadores semicondutores não controlados. São Paulo, E. P. U., 1975, 49p. il. (Eletrônica Industrial, 1).

CIPELLI, Antônio Marco Vicari & SANDRINI, Waldir João. Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos. 8.ª ed., São Paulo, Érica, 1984, 580p. il.

TRAINING PUBLICATIONS DIVISION OF PERSONEL PROGRAM SUPPORT ACTIVITY. Curso de eletrônica. São Paulo, Hemus, c1975, 178p.

MILLMAN, Jacob e HALKIAS, Christos C., Integrated electronics: analog and digital circuits and systems, São Paulo, McGraw-Hill, 1972.

VAN VALKENBURG, NOOGER & NEVILLE. Eletrônica básica. 9.ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, c1975, v.6.

MILLMAN, Jacob e HALKIAS, Christos C., Integrated electronics: analog and digital circuits and systems, São Paulo, McGraw-Hill, 1972.

DEGEM SYSTEMS . Fontes de alimentação eletrônicas. Israel, Eletrônica Modular Pantec, c1976, 49pp. ilust.

FIGINI, Gianfranco. Eletrônica Industrial; circuitos e aplicações. São Paulo, Hemus, c1982, 336pp.

SENAI/ Departamento Nacional. Reparador de circuitos eletrônicos; eletrônica básica II. Rio de Janeiro, Divisão de Ensino e Treinamento, c1979 (Coleção Básica Senai, Módulo 1).

ARNOLD, Roberts & BRANDT, Hans. Retificadores semicondutores não controlados. São Paulo, E. P. U., 1975, 49pp. il. (Eletrônica Industrial, 1).

CIPELLI, Antônio Marco Vicari & SANDRINI, Waldir João. Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos. 8.ª ed., São Paulo, Érica, 1984, 580pp. il.

CURSO DE SEMICONDUTORES; diodos emissores de luz. São Paulo. Nova Eletrônica, (38): 121-3, abr./80

DAMAYE, R. Optoeletrônica: Fundamentos teóricos y aplicaciones practicas Opto-electronique; bases théoriques et applications pratiques Trad. de Daniel Santano y Leon. Madrir, Paraninfo, 1974, 243 pp. ol.

DEBOO G. J. BURROUS, C. N. Integrated circuits and semiconductor devices: theory and aplications. New York, Mc Graw-Hill, 1971, 655pp.

SINGH, J., Semiconductor optoelectronics: Physics and Technology, New York, McGraw-Hill, Inc., 1995.

TUCCI, Wilson José. Introdução à eletrônica. 7.ª ed., São Paulo, Nobel 1983, 349pp.

MILLMAN, Jacob & HALKIAS, Christos C., Integrated Electronics: Analog and Digital Circuits and Systems, pp. 73-77 (McGraw-Hill, Inc., International Student Edition, 1972).

ARNOLD, Robert & BRANT, Arns. Transistores, segunda parte. São Paulo, EPU, 1975. il. (Eletrônica Industrial, 2).

DEGEM SYSTEMS. Circuitos transistorizados formadores de pulso. Israel, Eletrônica modular, 1976 . 255p. il.

FIGINI, Gianfranco. Eletrônica industrial; circuitos e aplicações. São Paulo, Hemus, c 1982. 336p.

Coleção Eletrônica Básica I – SENAI

Diagramação
Anna Daniella C. Teixeira

Editoração
Divisão de Educação e Tecnologia - DET